

# **Metodología para la Confirmación del Método en los Ensayos a Equipos**

## **Acondicionadores de Aire por Diseño de Experimentos 3<sup>k</sup>**

Gloria Yamile Parra Marín.  
Julio 2018.

Universidad Tecnológica de Pereira.  
Facultad de Ingeniería Industrial.  
Escuela de Postgrados.  
Maestría en Investigación Operativa y Estadística.  
Pereira.

# **Metodología para la Confirmación del Método en los Ensayos a Equipos**

## **Acondicionadores de Aire por Diseño de Experimentos 3<sup>k</sup>**

Gloria Yamile Parra Marín.  
Julio 2018.

Trabajo de grado para optar al título de  
Magister en Investigación Operativa y Estadística

Director: Magister  
Carlos Alberto Orozco Hincapié.  
Profesor Titular FIM-UTP.

Universidad Tecnológica de Pereira.  
Facultad de Ingeniería Industrial.  
Escuela de Postgrados.  
Maestría en Investigación Operativa y Estadística.  
Pereira.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Carlos Alberto Orozco Hincapié

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, Abril de 2018

### **Dedicatoria.**

Este trabajo está dedicado a mi hijo JUAN ALEJANDRO LONDOÑO PARRA quien es mi motor, a mi madre y hermanos por su comprensión y por ese apoyo amoroso e incondicional. A mis sobrinos que con sus muestras de afecto me hacen sentir la mejor tía.

### **Agradecimiento.**

A ese Padre Celestial en quien creo fielmente, y me ha enseñado con las experiencias vividas que en el momento que permití que entrara y permaneciera en mi corazón siempre está conmigo.

Mi gratitud a todos aquellos que con sus valiosos aportes hicieron posible la realización de este trabajo: a mi Director CARLOS ALBERTO OROZCO HINCAPIE, porque por medio de él conocí a quien ama verdaderamente la docencia, por entregar el conocimiento solo con la esperanza de que quien lo recibe aporte aún más; por su paciencia, sus valiosos aportes y motivación.

## **Resumen.**

En este trabajo se realizara la confirmación a partir de criterios de desempeño del método calorimétrico para realizar pruebas a equipos acondicionadores de aire en el Laboratorio de Ensayos Para Equipos Acondicionadores de Aire de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Existe actualmente la normativa, ISO-5151, para la realización de estos ensayos, pero la normativa para validar o confirmar el método es muy costosa de implementar, por lo tanto una metodología para realizar la confirmación del método calorimétrico es requerida. La literatura encontrada en su mayoría está desarrollada y enfocada a la validación y confirmación de métodos químicos; confirmar el método es una manera de demostrar el uso previsto que se hace al interior de un laboratorio en la aplicación de normas y procedimientos para la realización de los ensayos.

Debido a esto y ante la necesidad de una confirmación aplicada para el método calorimétrico se desarrolla un diseño de experimentos que permita concluir para el Laboratorio de Pruebas y Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado la aplicación adecuada del método calorimétrico.

Palabras Claves: Diseño de experimentos  $3^k$ , validación de métodos, confirmación de métodos.

## **Abstrac.**

In this work the confirmation will be make based on the performance criteria of the calorimetric method for testing air conditioning equipment in the Laboratory of Tests for Air Conditioning Equipment of the Technological University of Pereira.

There is the normative, ISO-5151, for the accomplishment of these tests, but the normative to confirm the method has a very high financial cost, thefore an alternative methodology to realize the confirmation of the calorimetric method is required. It is know that in the literature it is found majority developed and focused to the validation and confirmation of chemical methods; to confirm the proposed method is the way to demonstrate the designed method intend is made within a laboratory in the application of standards and procedures for conducting the tests.

Due to this and in the search for an applied confirmation for the calorimetric method an experimental design is developed that allows to conclude for the Laboratory of Tests and Tests for Air Conditioning Equipment the adequate application of the calorimetric method.

Keywords: Factorial *Design*  $3^k$ , Validation or confirmation methods.

## Tabla de Contenido.

Introducción. ....	13
1. El Problema de Investigación. ....	14
1.1 Antecedentes de la idea. ....	14
1.2 Situación problema. ....	18
1.3 Problema de investigación definido. ....	18
1.4 Pregunta de investigación. ....	19
1.5 Hipótesis definida. ....	19
1.6 Objetivos del trabajo de investigación. ....	19
1.6.1 Objetivo General. ....	19
1.6.2 Objetivos Específicos. ....	19
1.7 Justificación. ....	19
1.8 Beneficios a obtener. ....	20
1.9 Limitaciones previsibles. ....	21
2. Marco Referencial. ....	22
2.1 Marco situacional. ....	22
2.2 Marco contextual. ....	28
2.3 Marco legal. ....	37
2.3.1 Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ. ....	37
2.3.2 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. ....	37
2.4 Marco normativo. ....	38
2.4.1 Normatividad aplicada. ....	38
2.5 Marco conceptual. ....	38
2.5.1 Confirmación de métodos. ....	38
2.5.2 Diseño de experimentos. ....	42
2.6 Marco teórico. ....	50
2.6.1 Diseño de experimentos. ....	50
2.6.2 Diseño factorial <b>3k</b> . ....	50
2.6.3 Diseño de segundo orden. ....	51
2.7 Glosario. ....	51

3	El Diseño Metodológico.....	54
3.1	Universo. ....	54
3.2	Población o muestra. ....	54
3.2.1	Población. ....	54
3.2.2	Muestra. ....	54
3.3	Tipo de investigación y de estudio .....	54
3.4	Delimitación del estudio.....	55
3.5	Variables e indicadores del estudio. ....	55
3.6	Instrumentos para recolección de información.....	56
3.6.1	Información primaria.....	56
3.6.2	Información secundaria .....	56
3.7	Procesamiento análisis de información. ....	56
3.8	Producto a generar.....	57
4.	Resultados de las Diferentes Fases de la Investigación.....	59
4.1	Fase 1. Análisis de las variables que serán utilizadas en la validación y confirmación. ....	59
4.1.1	Análisis de la capacidad de enfriamiento. ....	59
4.1.2	Análisis de la eficiencia energética. ....	60
4.1.3	Análisis de la potencia de consumo.....	60
4.2	Fase 2. Desarrollo de las pruebas en el laboratorio de pruebas y ensayos para equipos de aire acondicionado.....	60
4.3	Fase 3. Aplicación y desarrollo de la confirmación. ....	63
4.3.1	Pruebas realizadas equipos marca 1. ....	68
4.3.2	Pruebas realizadas equipos marca 2. ....	70
4.3.3	Pruebas realizadas equipos marca 3. ....	72
4.3.4	Pruebas realizadas equipos marca 4. ....	74
4.4	FASE 4. Resultados de la confirmación.....	77
4.4.1	Diseño factorial <b>3k</b> .....	77
4.4.2	Análisis de datos.....	79
4.4.3	Parámetros tradicionales para realizar la confirmación.....	83
4.4.4	Resultados de la confirmación parámetros tradicionales. ....	90
4.4.5	Informe del Resultado de Confirmación. ....	146



5.	Propuesta.....	147
6.	Conclusiones.....	150
7.	Recomendaciones.....	151
8.	Bibliografía.....	153

## Lista de Figuras.

Figura 1. Parámetros de validación o verificación .....	15
Figura 2. Secuencia de Validación y Confirmación.....	16
Figura 3. El Consumo de Energía y el Significado. ....	23
Figura 4. Etiqueta Acondicionadores de Aire. Marca Carrier.....	24
Figura 5. Etiqueta Acondicionadores de Aire. Marca Airenix.....	25
Figura 6. Ciclo de Deming y los experimentos. ....	43
Figura 7. Prueba de Hipótesis con Muestras Pequeñas para la Media Poblacional. ....	48
Figura 8. Prueba de Hipótesis Igualdad de Varianzas Poblacionales.....	49
Figura 9. Resultado Potencia de Enfriamiento cada 5 segundos.....	51
Figura 10. Acondicionadores de Aire para Recinto. ....	53
Figura 11. Resultado potencia de enfriamiento según la ISO 5151. ....	61
Figura 12. Resultado potencia de enfriamiento doce grupos de lecturas. ....	61
Figura 13. Resultado Potencia de Enfriamiento cada 5 segundos.....	62
Figura 14. Fotografías ensayos en el LPEA. ....	78
Figura 15. Respuesta a la Concentración. ....	86
Figura 16. Comportamiento Equipos Marca 1. ....	91
Figura 17. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 1.....	92
Figura 18. Resultado de Robustez Equipos Marca 1.....	93
Figura 19. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 1.....	94
Figura 20. Resultado Precisión Equipos Marca 1. ....	96
Figura 21. R&R del Sistema de Medición Equipos Marca 1. ....	97
Figura 22. Criterios de Aceptación AIAG.....	98
Figura 23. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 1.....	99
Figura 24. Línea de Ajuste Equipos 1 y 2 Marca 1.....	99
Figura 25. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 1.....	100
Figura 26. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 1 y 3 Marca 1. ....	101
Figura 27. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 1.....	102
Figura 28. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 2 y 3 Marca 1. ....	103
Figura 29. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 1. ....	104
Figura 30. Resultado ANOVA. ....	108
Figura 31. Intervalos de Respuesta.....	109
Figura 32. Intervalos de Tukey.....	109
Figura 33. Intervalos de Hsu. ....	110
Figura 34. Comportamiento Equipos Marca 2. ....	110
Figura 35. Resultado Linealidad y Sesgo Marca 2.....	111
Figura 36. Resultado de Robustez Equipos Marca 2.....	112
Figura 37. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 2.....	113

Figura 38. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 2.....	114
Figura 39. Resultado Precisión (Estudio R&R) Equipos Marca 2. ....	116
Figura 40. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 2.....	117
Figura 41. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 1 y 2 Marca 1. ....	118
Figura 42. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 2.....	119
Figura 43. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 3 Marca 2.....	120
Figura 44. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 2.....	121
Figura 45. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 3 Marca 2. ....	122
Figura 46. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 2. ....	123
Figura 47. Comportamiento Equipos Marca 3. ....	124
Figura 48. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 3.....	125
Figura 49. Resultado de Robustez Equipos Marca 3.....	126
Figura 50. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 3.....	127
Figura 51. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 3.....	128
Figura 52. Resultado Precisión (Estudio R&R) Equipos Marca 3. ....	129
Figura 53. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 3.....	130
Figura 54. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 2 Marca3. ....	131
Figura 55. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca3.....	132
Figura 56. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 1 y 3 Marca2. ....	132
Figura 57. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 3.....	133
Figura 58. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 2 y 3 Marca3. ....	134
Figura 59. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 3. ....	134
Figura 60. Comportamiento Equipos Marca 4. ....	135
Figura 61. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 4.....	136
Figura 62. Resultado de Robustez Equipos Marca 4.....	137
Figura 63. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 4.....	138
Figura 64. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 4.....	139
Figura 65. Resultado Precisión (R&R del sistema) Equipos Marca 4.....	140
Figura 66. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 4.....	141
Figura 67. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 1 y 2 Marca 4. ....	142
Figura 68. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 4.....	143
Figura 69. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 4.....	143
Figura 70. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 4.....	144
Figura 71. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 4.....	145
Figura 72. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 4. ....	145
Figura 73. Etiqueta propuesta.....	148
Figura 74. Secuencia de Validación y Confirmación.....	152

## Lista de Tablas.

Tabla 1. Clasificación de los parámetros de validación. ....	20
Tabla 2. La Validación o Confirmación y el desempeño del Método. ....	27
Tabla 3. Clasificación de los parámetros de validación. ....	41
Tabla 4. Ciclo de Deming en un experimento. ....	43
Tabla 5. Planeación y diseño en un experimento. ....	44
Tabla 6. Análisis, interpretación y conclusiones. ....	46
Tabla 7. Variables del Estudio. ....	55
Tabla 8. Adquisición de datos. ....	56
Tabla 9. Generación de nuevo conocimiento. ....	57
Tabla 10. Fortalecimiento de la comunidad científica. ....	57
Tabla 11. Difusión del conocimiento. ....	58
Tabla 12. Impactos esperados. ....	58
Tabla 13. Resultado del Ensayo LPEA. ....	62
Tabla 14. Plan de Confirmación Laboratorio LPEA. ....	63
Tabla 15. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 1. ....	68
Tabla 16. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 1. ....	69
Tabla 17. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 1. ....	69
Tabla 18. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 2. ....	70
Tabla 19. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 2. ....	70
Tabla 20. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 2. ....	71
Tabla 21. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 3. ....	72
Tabla 22. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 3. ....	73
Tabla 23. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 3. ....	74
Tabla 24. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 4. ....	75
Tabla 25. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 4. ....	75
Tabla 26. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 4. ....	76
Tabla 27. Factores, niveles y valores de niveles. ....	77
Tabla 28. Datos obtenidos en las pruebas a equipos acondicionadores de aire. ....	78
Tabla 29. Parámetros para la Validación o Confirmación. ....	83
Tabla 30. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 1. ....	104
Tabla 31. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 1. ....	107
Tabla 32. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 2. ....	123
Tabla 33. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 3. ....	135
Tabla 34. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 4. ....	146
Tabla 35. Informe de Confirmación. ....	146

## **Introducción.**

En el Laboratorio de Pruebas y Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado de la Universidad Tecnológica de Pereira se realiza pruebas equipos acondicionadores de aire; es indispensable realizar la confirmación del método utilizado que lleve a declarar la validez del mismo, estableciendo de esta manera confiabilidad en los resultados de las mediciones hechas por el laboratorio.

Se desarrolla la confirmación para verificar la ejecución apropiada del método calorimétrico y su desempeño, a través del diseño de experimentos.

Se realizaron pruebas a equipos acondicionadores de aire que pertenecen a diferentes marcas comerciales, para el estudio y los resultados obtenidos se denominan Marca 1, Marca 2, Marca 3 y Marca 4.

El documento está dividido en 4 Partes, Fase 1. Análisis de las variables que serán utilizadas en la validación o confirmación, Fase 2. Desarrollo de las pruebas en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado, Fase 3. Aplicación y Desarrollo de la Confirmación y la Fase 4. Resultados de la Confirmación.

## 1. El Problema de Investigación.

El presente Capítulo contiene los siguientes elementos:

- Antecedentes de la idea.
- Situación problema.
- Problema de investigación definido.
- Pregunta de investigación.
- Hipótesis definida.
- Objetivos del trabajo de investigación.
- Justificación.
- Beneficios a obtener.
- Limitaciones previsibles.

### 1.1 Antecedentes de la idea.

La calidad del aire acondicionado que reside dentro de los recintos debe ser garantizada no solo para el confort térmico de las personas, sino para mantener condiciones de proceso, es el caso de los laboratorios de medicamentos, cuartos limpios de hospitales, centrales telefónicas entre otros. Las condiciones de confort y de proceso (temperatura, humedad relativa) se garantizan mediante equipos de aire acondicionado que den la capacidad de enfriamiento necesaria con un bajo consumo de energía.

La confirmación de métodos está desarrollada expresamente en los laboratorios de pruebas químicas, el instituto de salud pública de Chile, público en el año 2010 una Guía Técnica para la validación de métodos analíticos como Laboratorio Nacional de Referencia<sup>1</sup>, este documento es una de las referencias más utilizadas, se desarrollan cada uno de los parámetros de validación o verificación Figura 1, y la secuencia Figura 2.

---

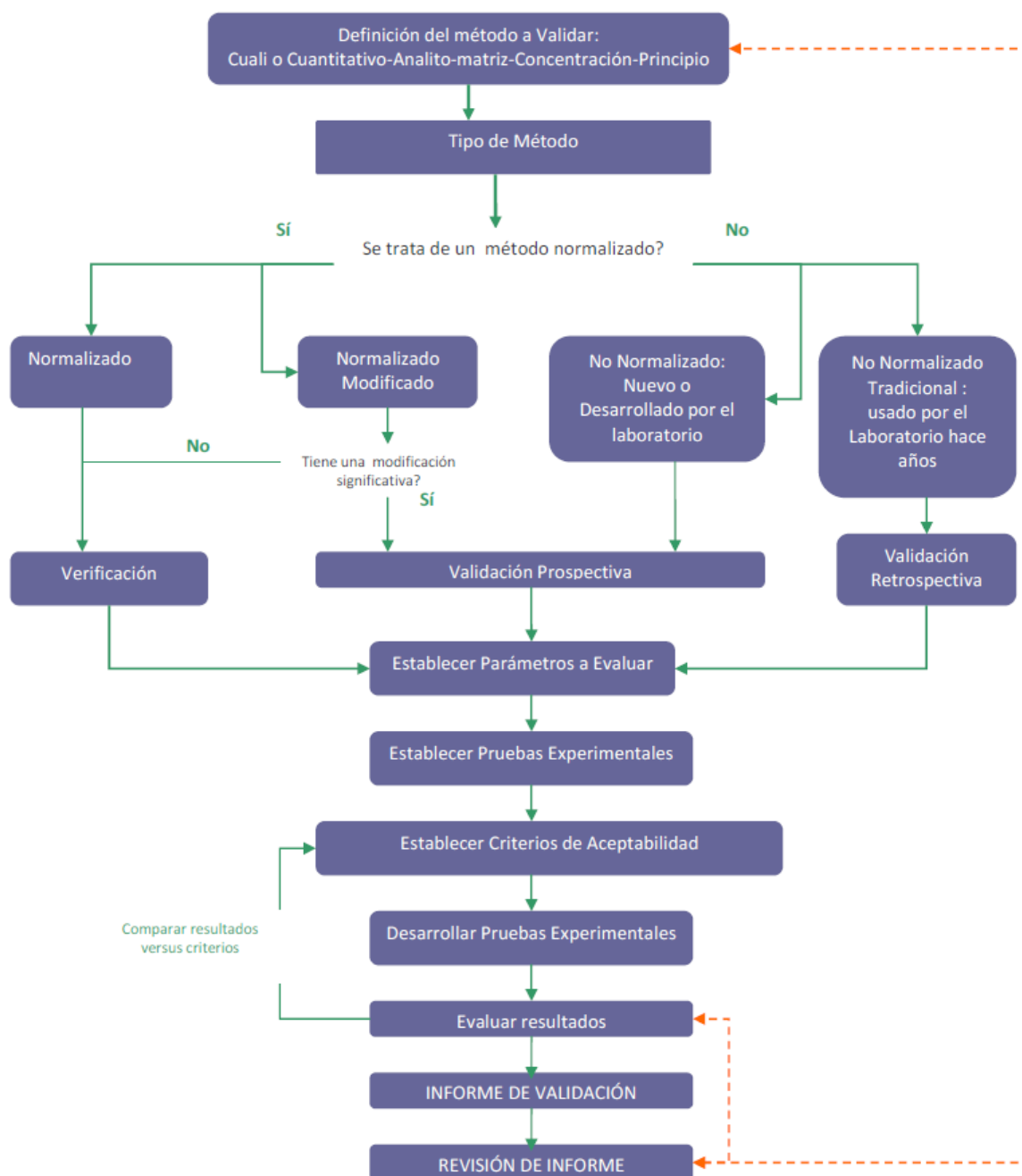
<sup>1</sup> Instituto de Salud Pública. Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”. Recuperado de [http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento\\_tecnico/2010/12/Guia%20T%C3%A9cnica%201%20validaci%C3%B3n%20de%20M%C3%A9todos%20y%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20incertidumbre%20de%20la%20medici%C3%B3n\\_1.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/12/Guia%20T%C3%A9cnica%201%20validaci%C3%B3n%20de%20M%C3%A9todos%20y%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20incertidumbre%20de%20la%20medici%C3%B3n_1.pdf) [Consultado: 8 de octubre de 2016]

**Figura 1. Parámetros de validación o verificación**

PARAMETRO A EVALUAR	CARACTERISTICA(S)	METODO CUALITATIVO	METODO CUANTITATIVO		
			NORMALIZADO	MODIFICADO	NUEVO
SELECTIVIDAD	Identificación analito Interferencia de matriz	Sí	No	Sí	Sí
LINEALIDAD	Rango lineal	No	Sí	Sí	Sí
SENSIBILIDAD	Pendiente	No	Sí o No	Sí	Sí
LIMITES	Critico (LC) Detección (LOD) Cuantificación (LOQ)	Sí	Sí o No	Sí	Sí
PRECISION	Repetibilidad Reproducibilidad	No	Sí	Sí	Sí
VERACIDAD	Sesgo (s) Recuperación (R)	No	Sí o No	Sí o No	Sí
ROBUSTEZ	Test de Youden y Steiner	No	No	Sí o No	Sí
APLICABILIDAD	-----	Sí	Sí	Sí	Sí

**Fuente:** Instituto de Salud Pública. (2010). Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”.

**Figura 2. Secuencia de Validación y Confirmación.**



**Fuente:** Instituto de Salud Pública. (2010). *Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”*.



Según la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito<sup>1</sup>, indica que antes de iniciar un modelo para la validación de método analítico, es indispensable que los equipos e instrumentos de medición utilizados estén calibrados y verificados cumpliendo así con requisitos metrológicos y entregando trazabilidad en las mediciones.

La Eurachem en el año 2014 publicó una Guía denominada La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos. Una Guía de Laboratorio para Validación de Métodos y Temas Relacionados, en el numeral “2.2 ¿Cuál es la diferencia entre validación y verificación: “definen verificación como “**confirmación**, a través de la aportación de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos especificados”. El VIM establece que la **verificación** es “la aportación de evidencia objetiva de que un elemento dado satisface los requisitos especificados” y que **validación** es un procedimiento de “verificación, donde los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto”. Un laboratorio puede adoptar un procedimiento validado que, por ejemplo, ha sido publicado como una norma, o adquirir un sistema de medida completo y emplearlo para una aplicación específica a partir de un desarrollo comercial. En ambos casos el trabajo de validación básica se ha realizado, pero el laboratorio debe confirmar su capacidad para aplicar el método. Esta es la verificación. Esto implica que debe realizarse un trabajo experimental para demostrar que el método funciona adecuadamente en el laboratorio. Sin embargo, la carga de trabajo es probable que sea considerablemente menor en comparación con la validación de un método que se ha desarrollado internamente”<sup>2</sup>.

El Banco Interamericano de Desarrollo en julio de 2016 presenta un análisis cualitativo del (Sub) Sistema Nacional de Calidad (SNC) en Colombia que lo ubican entre los países que más han avanzado en Latinoamérica en los últimos 15 años, sin embargo presenta atrasos considerables en el área de laboratorios de pruebas y ensayos puesto que solo un número pequeño ha obtenido las certificaciones adecuadas. En este documento se resalta el numeral **5.4 Análisis General de las Encuestas** página 54, que muestra la importancia de la acreditación de los laboratorios así:

<sup>3</sup>“*Los laboratorios encuestados no cuentan con las capacidades técnicas suficientes para llevar a cabo la actividad de evaluación de la conformidad de los productos y servicios producidos en el país.*” Las implicaciones sobre el sector productivo usuario de estos servicios y de los usuarios es la pérdida de competitividad de las empresas, y el aumento de la desconfianza de los consumidores en los productos nacionales. La información de la EDM

---

<sup>1</sup> UNODC Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos. Recuperado de [https://www.unodc.org/documents/scientific/Validation\\_Manual\\_STNAR41\\_Ebook\\_S.pdf](https://www.unodc.org/documents/scientific/Validation_Manual_STNAR41_Ebook_S.pdf) [Consultado: 3 de septiembre de 2016]

<sup>2</sup> EURACHEM A focus for analytical chemistry in Europe. La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos. Una Guía de Laboratorio para Validación de Métodos y Temas Relacionados. Recuperado de [https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV\\_guide\\_2nd\\_ed\\_ES.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_ES.pdf) [Consultado: 2 agosto de 2016]

<sup>3</sup> BID Banco Interamericano de Desarrollo. El Sistema Nacional de Calidad en Colombia. Un análisis cualitativo del desarrollo del sistema. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7765/El-Sistema-Nacional-de-Calidad-en-Colombia-un-analisis-cualitativo-del-desarrollo-del-sistema.pdf?sequence=1> [Consultado: 3 noviembre de 2016]

es al año 2012 y cabría preguntarse sobre si ha habido cambios significativos en los aspectos de calidad de los laboratorios en Colombia. Una respuesta a ello es la afirmación contenida en el documento CONPES de propuesta “Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015-2025” presentado a la comunidad empresarial, académica e investigadora del país el pasado 4 de diciembre de 2015. En él textualmente se afirma: *“Por su parte, la acreditación y el cumplimiento de normas técnicas y estándares internacionales en laboratorios son también determinantes de la calidad de la infraestructura y de una I+D competitiva a nivel internacional. De acuerdo con el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), el número de laboratorios de ensayos y calibración existentes actualmente en el país es de 3.200 pero solamente el 10% se encuentra acreditado para realizar ensayos y calibraciones”* (p. 33). Un aspecto final importante es el bajo nivel del capital humano presente en el personal a cargo de las actividades de los laboratorios de pruebas y ensayos y la poca o baja participación de estos laboratorios en proyectos de I+D+In lo cual redundaría en una muy pobre imagen de este segmento de servicios de la calidad del país. Estas conclusiones coinciden con lo planteado en el Acta No 2 de 2014 de la Comisión Intersectorial de la Calidad (p. 3) que manifestó *“El problema central ... es la baja capacidad técnica y metrológica de los laboratorios de ensayos y calibración con sus causas como son: problemas normativos, problemas institucionales, problemas de recurso humano, problemas de infraestructura y equipamiento, problemas de competencia técnica”*.

## **1.2 Situación problema.**

Luego de la expedición por parte del Ministerio de Minas y Energía, del reglamento técnico de etiquetado energético RETIQ el 18 de septiembre de año 2015 y el cuál entró en vigencia el 31 de agosto de 2016 y que hace exigible el porte de etiquetas para equipos acondicionadores de aire, se inicia en el Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire la continua venta de servicios y se hace indispensable realizar la confirmación del método calorimétrico por medio de un diseño de experimentos, utilizando los equipos enviados por los fabricantes o por los organismos certificadores quienes son los usuarios.

Como respuesta se inicia el diseño de experimentos, analizando los requerimientos de la normatividad aplicada al laboratorio, las etapas y actividades de la planeación y análisis de un experimento.

## **1.3 Problema de investigación definido.**

En relación con el análisis efectuado, se define como problema de investigación el siguiente:

*“El Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire carece de una metodología apropiada para la confirmación del método calorimétrico que utiliza para realizar las pruebas; el diseño de experimentos es la metodología más adecuada para determinar la influencia de unos factores sobre una variable de respuesta que es la potencia de enfriamiento, que mediante la investigación determinará la declaración del método para el uso previsto”*.

## 1.4 Pregunta de investigación.

¿Cuál debe ser el diseño de experimentos requerido en el Laboratorio de Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado para confirmar el método calorimétrico utilizado en las pruebas a los acondicionadores de aire?

## 1.5 Hipótesis definida.

Para la confirmación del método en el Laboratorio de Ensayos para Equipos de Aire Acondicionado se debe llevar a cabo el diseño de experimentos dónde se defina los factores y niveles según las variables de estudio.

Ho: La potencia de enfriamiento es igual para los equipos que pertenecen a la misma marca.

Ha: La potencia de enfriamiento es diferente para los equipos que pertenecen a la misma marca.

## 1.6 Objetivos del trabajo de investigación.

De acuerdo con el problema de investigación y la hipótesis definida son objetivos de esta investigación:

### 1.6.1 Objetivo General.

Desarrollar el diseño de experimentos **factorial 3<sup>k</sup>**, para confirmar el método calorimétrico del Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire de la Universidad Tecnológica de Pereira utilizado en los ensayos a equipos acondicionadores de aire.

### 1.6.2 Objetivos Específicos.

1. Planear las etapas y actividades del experimento (unidad experimental, variable de respuesta, factores, niveles, tratamientos, diseño, replicas e hipótesis).
2. Realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio para los diferentes equipos y diferentes marcas conforme al alcance de acreditación.
3. Efectuar la confirmación utilizando los datos generados en el procesamiento de las pruebas mediante diseño de experimentos **factorial 3<sup>k</sup>**.

## 1.7 Justificación.

Para el Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire de la Universidad Tecnológica de Pereira la investigación es de importancia en estos momentos en que se consolida como el único laboratorio en el país que realiza este tipo de pruebas.

El método utilizado para este tipo de ensayos se describe en normas técnicas nacionales como la NTC- 5380 cuya base ha sido normas internacionales como la ISO 5151, la confirmación de dicho método no ha sido establecido y concluyente.

Así se justifica el análisis y el desarrollo del diseño de experimentos para la confirmación del método calorimétrico y se plantea en la Tabla 1:

**Tabla 1. Clasificación de los parámetros de confirmación.**

<b>Confirmación método calorimétrico Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire</b>	
Unidad experimental	Prueba a equipos acondicionadores de aire
Variable de respuesta	Potencia de enfriamiento
Factores	<b>3</b> Potencia demanda (Pd) Marca Equipos
Factor de bloqueo	<b>2</b> Tiempo de ensayo Dato del fabricante de potencia
Niveles	<b>3</b> Marca1, Marca2, Marca3 Equipo1, Equipo2, Equipo3 Pd1, Pd2, Pd3
Diseño	Factorial $3^3$
Tratamientos	27 tratamientos
Replicas	1 replica
Total	27
Hipótesis	Ho: La potencia de enfriamiento es igual. Ha: La potencia de enfriamiento es diferente.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 1.8 Beneficios a obtener.

Con los resultados de la investigación, se obtienen los siguientes beneficios:

- **Científicos:**  
Inclusión en la literatura del tema relacionado.
- **Tecnológicos:**

Diseño y puesta en marcha de la metodología de diseño experimentos para la confirmación de métodos por medio del software Minitab.

➤ ***Económicos:***

Reducción de costos, al desarrollarse mejores prácticas en la confirmación de métodos.

➤ ***Administrativos:***

Fortalecimiento en la planeación de un experimento.

### **1.9 Limitaciones previsibles.**

De acuerdo con la planeación y experiencia, la investigación presenta las siguientes limitaciones:

- Poco conocimiento de confirmación de métodos por parte de los funcionarios del laboratorio.
- Limitada documentación bibliográfica con el tema objeto de estudio.

## 2. Marco Referencial.

El presente Capítulo contiene:

- Marco situacional.
- Marco contextual.
- Marco legal.
- Marco normativo.
- Marco conceptual.
- Marco teórico.

### 2.1 Marco situacional

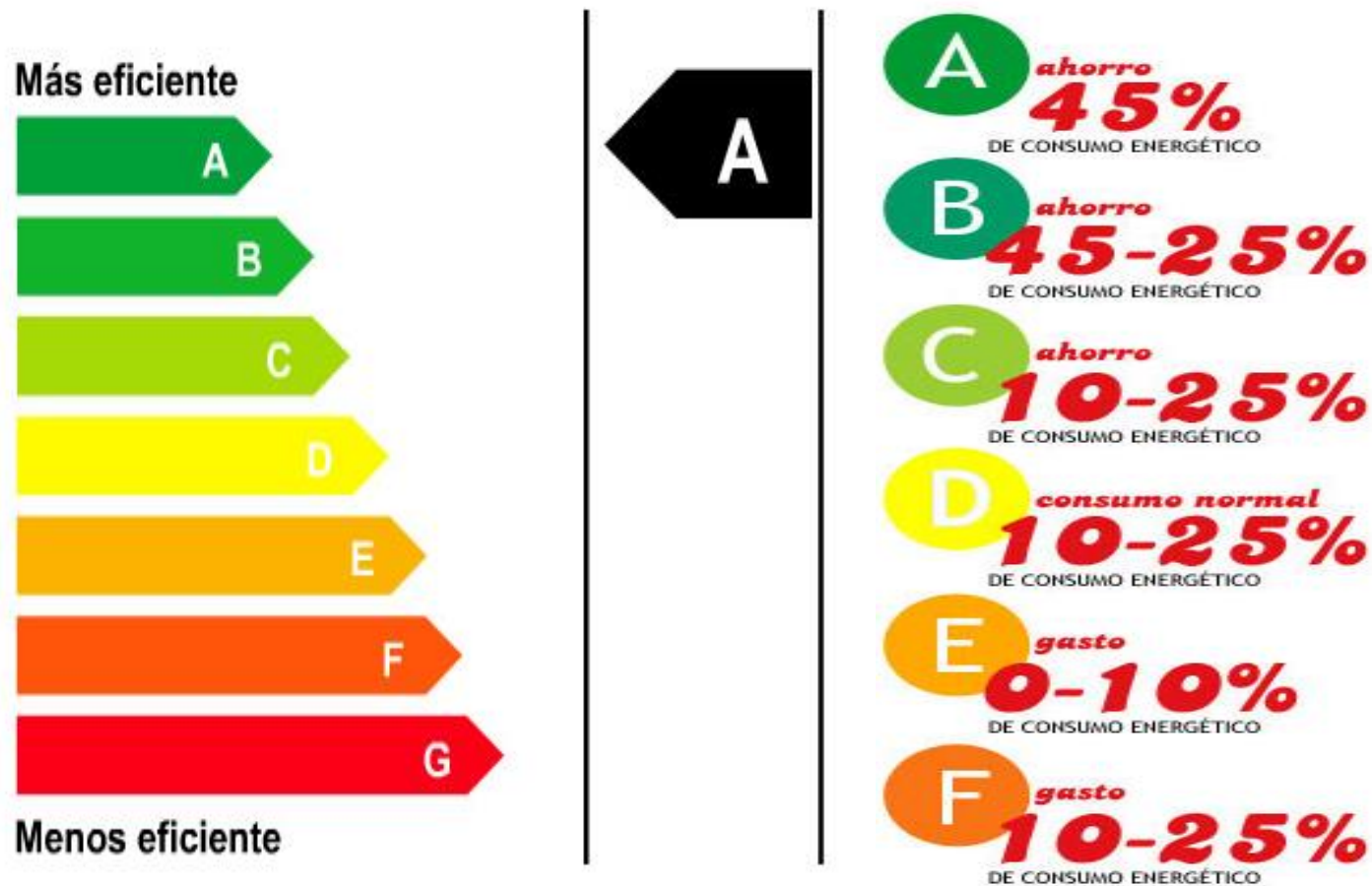
El Laboratorio de pruebas para equipos acondicionadores de aire se creó en el año 2006 como proyecto de extensión de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con la finalidad de apoyar el Programa Colombiano de Normalización, Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía PROGRAMA CONOCE .

En el marco de las pruebas realizadas a los equipos Acondicionadores de Aire, en Colombia el Ministerio de Minas y Energía expidió el Reglamento Técnico de Etiquetado Energético RETIQ el 18 de septiembre del año 2015 y el cual entró en vigencia el 31 de agosto de 2016 haciendo exigible el porte de ETIQUETAS para equipos acondicionadores de aire para recinto, es decir, los fabricantes en la etiqueta deben proveer la información mínima necesaria para el usuario o consumidor de equipos de uso final de energía eléctrica, como la **capacidad de enfriamiento, eficiencia energética y potencia de consumo**. Teniendo en cuenta que estos datos deben ser entregados a partir de una medición confiable, se debe hacer a través de un laboratorio acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025 que demuestre adecuada trazabilidad en las mediciones. Quien ubica la etiqueta luego de realizar la prueba a un acondicionador de aire es un Organismo Certificador de Producto, es decir, al recibir la solicitud de certificar un lote de producción de acondicionadores de aire, se toma el 10% de los productos, y se remite a un laboratorio acreditado; actualmente el único que existe en Sur América es el de la Universidad Tecnológica de Pereira.

¿Qué significa la etiqueta en los electrodomésticos?

Las etiquetas de eficiencia informan sobre la cantidad de energía que consume cada electrodoméstico. Tienen barras con letras y colores que identifican siete clases de eficiencia: en el extremo superior, el color verde y la letra **A** hacen referencia a los equipos más eficientes, es decir, dónde hay un ahorro de consumo energético de 45%. En el extremo inferior, el color naranja y la letra **F** corresponden a los electrodomésticos que consumen más energía y se genera un gasto para el consumidor entre 10% y 25% (ver figura 3).

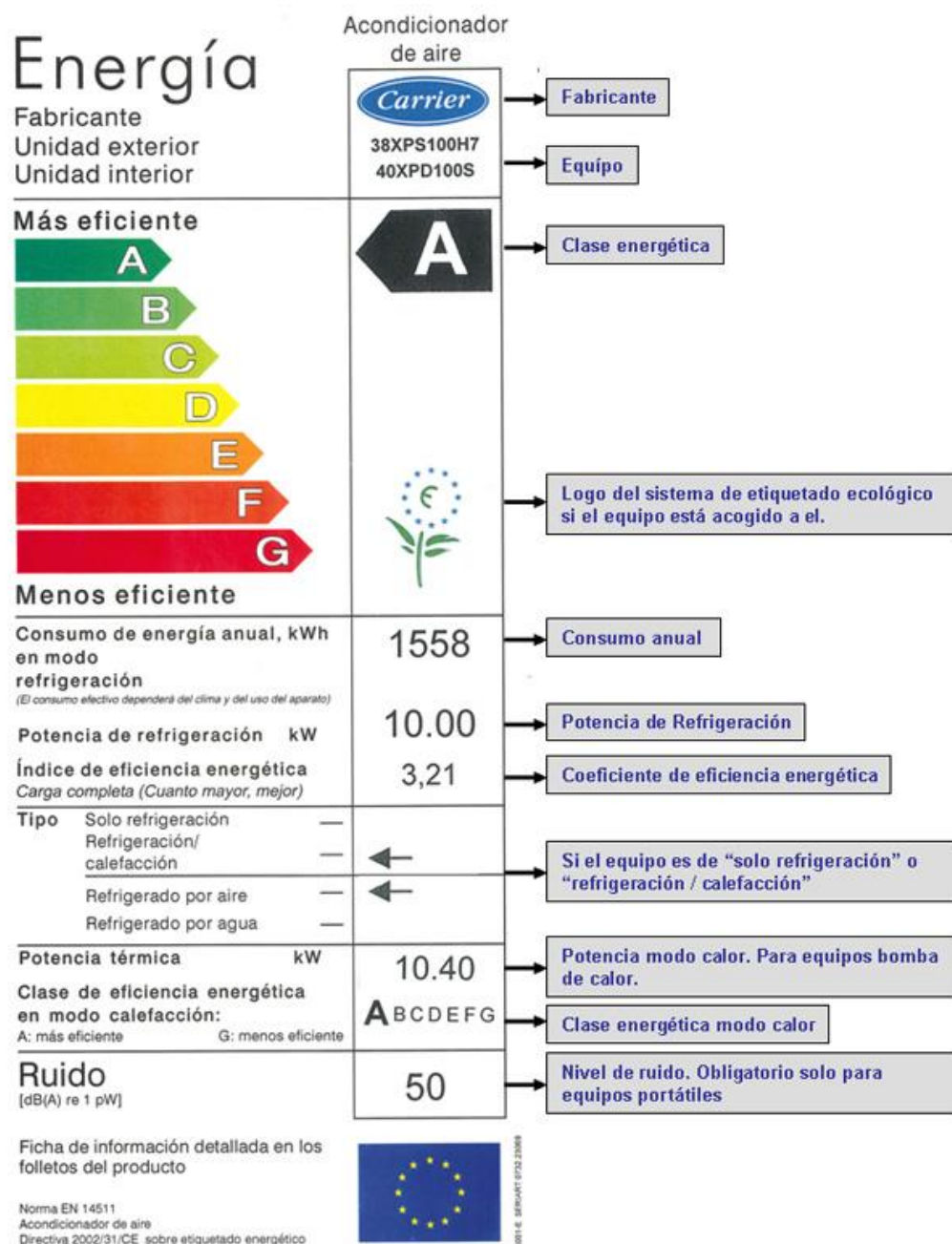
*Figura 3. El Consumo de Energía y el Significado.*



*Fuente:* <http://www.taringa.net/post/info/19062856/Que-significa-la-etiqueta-en-los-electrodomesticos.html>

Dos ejemplos de etiqueta para acondicionadores de aire son los de la empresa Airenix y Carrier Figura 4 y Figura 5.

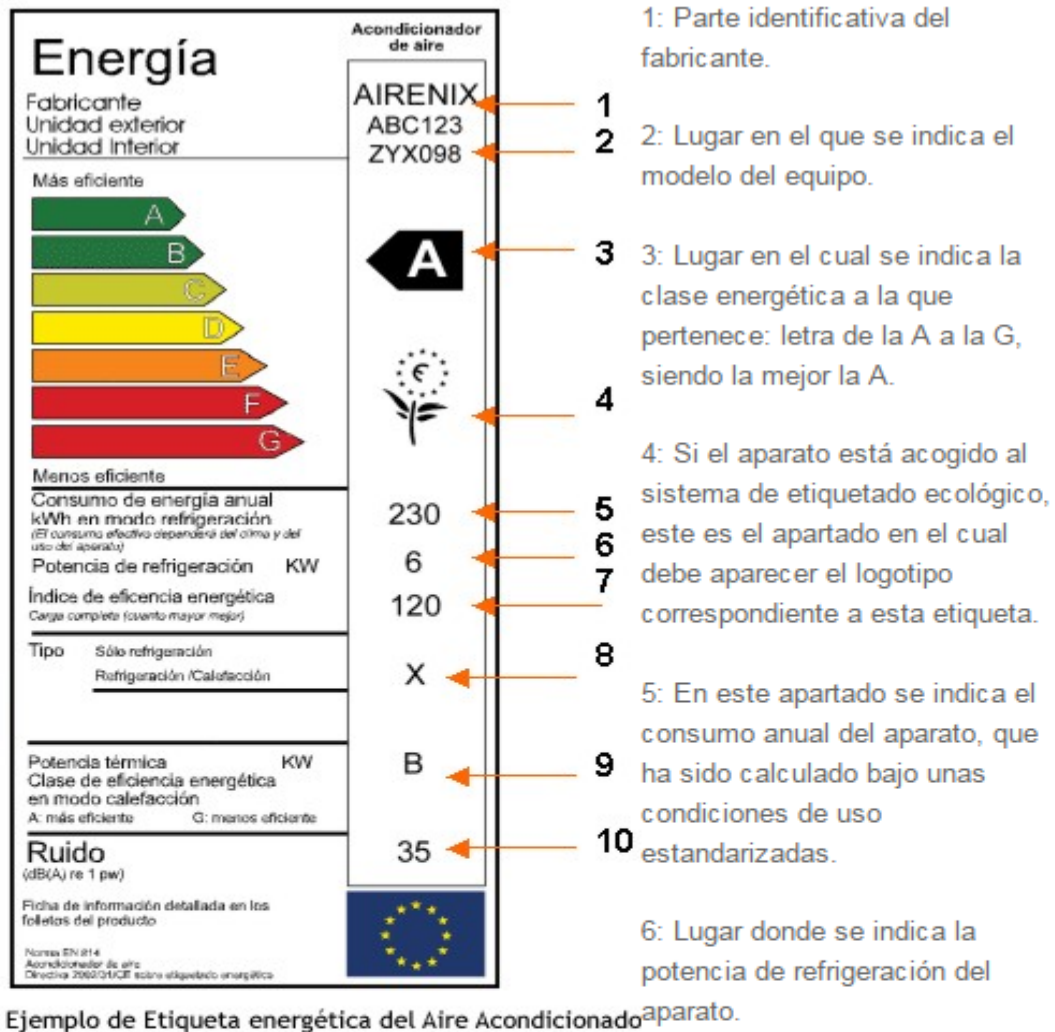
**Figura 4. Etiqueta Acondicionadores de Aire. Marca Carrier.**



**Fuente:** <https://www.google.com.co/search?q=Etiqueta+Acondicionador+de+Aire,+Marca+Carrier&espv=2&biw=822&bih=830&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjzIrTxaHQAHVjhlQKHRVwDtUQsAQIIg>



Figura 5. Etiqueta Acondicionadores de Aire. Marca Airenix.



Fuente.

<https://www.google.com.co/search?q=Etiqueta+Acondicionador+de+Aire,+Marca+Carrier&esprv=2&biw=822&bih=830&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKewjezIrTxaHQAhVjhlOKHRVwDtUQsAOIlg#tbm=isch&q=Etiqueta+Acondicionador+de+Aire%2C+Marca+Airenix>

### **Control de calidad y muestreo del fabricante.**

Para el fabricante definir los datos que entrega en la etiqueta, lo desarrolla mediante el control de proceso en fabrica; se busca establecer la capacidad esperada del equipo acondicionador de aire, haciendo que cada una de las partes se construyan con las características establecidas y mediante el ensamble del conjunto y la prueba de control de calidad en la cámara calorimétrica similar a la del LPEA obtienen la capacidad de enfriamiento. Allí mediante el control de calidad prueban cada uno de los equipos con la producción en línea que desarrollan en la fabricación.

El muestreo que se utiliza para definir la etiqueta está definido en el RETIQ, utilizando plan de muestreo correspondiente con una adaptación de la norma NTC-ISO 2859-1. 2002-04-03, en el numeral 7.4.2 Muestreo “Según aplique, se deberá usar el siguiente plan de muestreo a cada modelo de artefacto de acuerdo con su tipo y capacidad de acondicionamiento

- a) Si el fabricante o productor nacional o internacional dispone de certificación de calidad ISO 9001 u otro similar expedido bajo norma UL, y/o sello de conformidad de producto que cubra en el alcance de la certificación, tanto el producto objeto del reglamento técnico RETIQ como la evaluación del consumo o desempeño energético, se aplica un plan de muestreo con nivel especial de inspección S2, nivel aceptable de calidad (NAC) de 1,5 %, inspección simple reducida, lo que corresponde a un tamaño de muestra mínima de tres (3) artefactos seleccionados de forma aleatoria.
- b) Si el fabricante o productor nacional o internacional no cuenta con certificación de calidad 9001 u otro similar expedido bajo norma UL, y/o sello de conformidad de producto que cubra en el alcance de la certificación, los productos objeto del reglamento técnico RETIQ respecto a la evaluación del consumo de energía, se aplica un plan de muestreo con un nivel especial de inspección S2, nivel aceptable de calidad (NAC) de 1,5%, inspección simple normal, lo que corresponde a un tamaño de muestra mínima de ocho (8) artefactos seleccionados de forma aleatoria”<sup>5</sup>.

Es decir, los datos del fabricante los ha establecido en el proceso de producción, quien define la clase en la cual se ubica el acondicionador de aire es el organismo certificador de producto teniendo en cuenta los criterios de aceptabilidad de acuerdo al método hentálpico +/- 10% o el método calorimétrico +/- 5% y el resultado arrojado en el ensayo por un laboratorio acreditado como es el caso del LPEA,

### **¿Por qué validar o confirmar el método calorimétrico?**

Porque al validar o confirmar se demuestra la competencia técnica como se describe en la Tabla 2:

---

<sup>5</sup> Resolución 41012. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/36731-Resolucion-41012-18Sep2015.pdf> [Consultado: 12 de febrero de 2017]

**Tabla 2. La Validación o Confirmación y el desempeño del Método.**

Desarrollo de nuevos métodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de los parámetros de desempeño</li> </ul>
Aseguramiento de calidad de los resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confiabilidad / Fiabilidad</li> <li>• Certeza</li> <li>• Valor agregado</li> </ul>
Uso previsto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evidencia objetiva</li> </ul>
Requisitos legales y/o del cliente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento legal (Resolución ministerio)</li> <li>• Acreditación</li> <li>• Requerimientos específicos del cliente</li> </ul>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Además de lo anterior surge la siguiente pregunta ¿cuándo se valida o confirma el método? o ¿en qué momento?, los siguientes puntos responden a estos interrogantes:

- Un nuevo método desarrollado para un problema específico.
- Un método ya establecido revisado para incorporar mejoras o extenderlo a un nuevo problema.
- Cuando el control de calidad indica que un método ya establecido está cambiando con el tiempo.
- Un método establecido usado en un laboratorio diferente o con diferentes analistas o con diferentes instrumentos.
- Para demostrar la equivalencia entre dos métodos, por ejemplo, entre un método nuevo y uno de referencia.

La validación o confirmación se hace necesaria cuando se compara cada requisito con la característica de desempeño del método; estos elementos son: la herramienta u objeto de la validación, la función o uso previsto, los requisitos para la función, las características y su desempeño, la comparación de resultados y la expresión del resultado.

## 2.2 Marco contextual.

**Título:** Efecto de la Cantidad de Carga en el Consumo de Combustible en Camiones.

**Autor:** Jhon Jairo Posada Henao.

**Año:** 2012.

**Objetivo:** En esta tesis doctoral se aplica el diseño factorial 3K en algunos tipos de camiones objeto de análisis equivalente al que se utiliza en la investigación.

**Resumen:**

“La tesis aborda el estudio del consumo o rendimiento de combustible en vehículos camión operando en régimen de flujo libre, que es el que se encuentra típicamente en las carreteras en ambiente rural. Sobre este tema se han hecho estudios en diferentes lugares del mundo con los que se han obtenido modelos para predecir del consumo de combustible bajo ciertas condiciones de operación considerando principalmente aspectos relativos a la geometría de la carretera, pavimento, tráfico, y el mismo tipo de vehículo.

Cuando se considera un proyecto de carretera, en el análisis de los costos en el ciclo de vida tienen una importancia significativa los costos de operación vehicular, siendo el consumo de combustible el mayor componente dentro de estos, que es influenciado por diferentes aspectos como ya se mencionó.

La velocidad del vehículo y la pendiente de la carretera son elementos que afectan el consumo de combustible para cualquier vehículo, y son fundamentales para determinar su costo de operación; estos dos componentes están vinculados entre sí, y a su vez con la cantidad de carga, especialmente para los camiones, que les limita la velocidad para ciertas pendientes por la exigencia de potencia que se genera. Esto es de especial atención en carreteras con pendientes longitudinales medias y altas ya que provocan aumento en el consumo de combustible.

La ausencia de información de consumo de combustible y la inexistencia de vehículos prototipo representativos con información real de este consumo para varios países, incluido Colombia, y que los estudios hasta ahora realizados en otras partes del mundo, según lo consultado, presentan algunos vacíos, se considera válida la realización de esta investigación que se orienta a identificar principalmente el efecto de la cantidad de carga, en general del peso total del vehículo, en el consumo de combustible para camión circulando en régimen de flujo libre.

El desarrollo de la investigación contempla estudio de bibliografía relacionada con el tema, realización de pruebas que permitan identificar el efecto del peso total del vehículo en el consumo de combustible haciendo uso de la técnica del diseño de experimentos con aplicación de diseños factoriales, y finalmente encontrar modelos para estimar el consumo de combustible de camiones en varias condiciones de uso y proponer factores

de ajuste a modelo preexistente de amplio uso internacional en la evaluación de proyectos viales.

Los principales hallazgos, que son aporte importante al conocimiento, permiten concluir que para el consumo de combustible: son el peso del vehículo y la pendiente de la carretera factores con mayor influencia en comparación con la velocidad que es el factor tradicional considerado; que no son adecuadas pendientes mayores al 5% para corredores de transporte de carga; y que el modelo existente de amplio uso internacional lo sobrevalora de manera importante. Se desarrollan modelos de consumo de combustible para dos tipos de camión siendo uno de ellos de amplio uso a nivel internacional y sobre el que no existe evidencia de investigaciones como lo realizada<sup>6</sup>.

#### Análisis crítico del artículo:

Modelo presentado en esta tesis doctoral	Modelo propuesto en esta investigación
<p>En esta investigación se utiliza el procedimiento que plantea Montgomery (1991) para diseñar un experimento es:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprensión y planteamiento del problema</li> <li>• Elección de factores y niveles</li> <li>• Selección de la variable de respuesta</li> <li>• Elección del diseño experimental o tipo de experimento</li> <li>• Realización del experimento</li> <li>• Análisis de datos, y</li> <li>• Conclusiones y recomendación.</li> </ul>	<p>Las etapas y actividades de planeación y análisis del experimento se plantean según GUTIÉRREZ-DE LA VARA (2008) iniciando con el ciclo de Deming y luego con la Planeación y diseño, Análisis e interpretación y Conclusiones finales.</p>

#### Criterio de búsqueda:

- **Base de Datos:** Repositorio Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín.
- **Frase Lógica:** Diseño factorial 3k.
- **Dirección (URL) encontrada:** <http://www.bdigital.unal.edu.co/8440/>

<sup>6</sup> Posada John Jairo. Efecto de la cantidad de carga en el consumo de combustible en camiones. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Tesis doctoral. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8440/1/71687832.2012.pdf> . Repositorio Universidad Nacional de Colombia. [Consultado: 3 de julio de 2017]

**Título:** Validación de Métodos de Ensayo y Estimación de la Incertidumbre de Medida Conforme a la Norma ISO/IEC 17025.

**Autor:** Martha Hernández Revilla.

**Año:** 2013.

**Objetivo:** En esta tesis doctoral se aplica la validación de métodos en química analítica dónde se ha desarrollado la mayor parte de bibliografía en cuanto a confirmación y validación de métodos se refiere.

**Resumen:**

“Todos aquellos laboratorios que pretenden acreditarse de acuerdo a la norma ISO/IEC 17025, están obligado cumplir unos requisitos técnicos que incluyen la estimación de la incertidumbre de medida y la validación de los métodos de análisis, es decir, deben confirmar mediante examen y la aportación de evidencias objetivas que se han cumplido los requisitos particulares para la utilización específica prevista. Para llevar a cabo esta tarea el laboratorio debe realizar una serie de ensayos que confirmen las características técnicas del método tales como veracidad, precisión (repetibilidad y reproducibilidad), linealidad, incertidumbre...

En este trabajo se han desarrollado metodologías basadas en el empleo de muestras de control junto con diseños de experimentos anidados para obtener la información necesaria para evaluar las características técnicas del método. Esta combinación nos ha permitido obtener la máxima información requerida para la validación, realizando un mínimo número de medidas. Estas metodologías se han aplicado a la determinación de parámetros físico-químicos en aguas residuales: (i) determinación de aniones disueltos por cromatografía iónica, (ii) determinación de fenoles totales por espectrofotometría UV-vis y (iii) determinación de aceites y grasas mediante extracción en fase sólida y gravimetría.

Previamente a la validación se comprobó, mediante su calibración y/o verificación, que los equipos de medida estaban en perfecto uso, y que cumplían los requisitos específicos para el desarrollo de los métodos de análisis en los que estaban implicados.

Paralelamente, se realizaron ensayos previos necesarios para establecer determinadas condiciones experimentales tales como linealidad, requerimientos instrumentales, o tiempos máximos de conservación de muestras y patrones...

Los resultados del diseño de experimentos anidado nos permitieron evaluar para cada método de ensayo los parámetros de validación. El análisis de varianza, ANOVA, de dichos resultados nos ha permitido evaluar la repetibilidad de las medidas y las precisiones intermedias relacionadas con factores que previsiblemente pueden afectar a los resultados, tales como la realización de los análisis en distintos días o el cambio de analista. La incertidumbre de medida se estimó a partir de la información obtenida durante el proceso de validación. Este modelo generó, funciones matemáticas del tipo  $I=k3 \times k4$

que permitirán posteriormente estimar la incertidumbre asociada a la concentración,  $x$ , medida en una muestra en el laboratorio.

Finalmente, para comprobar la idoneidad del modelo de estimación de la incertidumbre se comparó con otros modelos alternativos: (i) el modelo tradicional “bottom-up”, que identifica, cuantifica y combina las fuentes de incertidumbre de cada etapa del proceso analítico, y (ii) el modelo “top-down”, que estima la incertidumbre de medida a partir de los resultados de ensayos de intercomparación de laboratorios, y que en este trabajo se extrapoló a los resultados de los ensayos intralaboratorio. Esta investigación muestra una secuencia ordenada de los pasos de los pasos que se deben seguir antes y durante la validación de un método; además muestra las causas que pueden generar variación en la aplicación de un método”<sup>7</sup>.

#### Análisis crítico del artículo:

Modelo presentado en esta tesis doctoral	Modelo propuesto en esta investigación
<p>Se desarrolló metodologías basadas en el empleo de muestras de control junto con diseños de experimentos anidados para evaluar las características técnicas del método.</p> <p>Esta investigación muestra la aplicación paso a paso de cada uno de los parámetros o criterios de desempeño utilizados al validar un método, estos son: Selectividad, Linealidad, Veracidad. Precisión, Límite de cuantificación, Límite superior, Rango de medida, Dilución máxima y el parámetro acuñado y aplicado en los últimos años en el proceso de validación que es la Incertidumbre de medición.</p>	<p>Esta investigación aplica un diseño de experimentos factorial para confirmar el método calorimétrico; como anexo se aplica cada uno de los parámetros considerados a realizar en los laboratorios que aplican la norma ISO 17025 (Selectividad, Linealidad, Veracidad. Precisión) para mostrar un paralelo.</p>

#### Criterio de búsqueda:

- **Base de Datos:** Repositorio Universidad de Valladolid.
- **Frase Lógica:** Validación de métodos.
- **Dirección (URL) encontrada:** <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4284>

<sup>7</sup> Hernández Revilla, Marta. Validación de métodos de ensayo y estimación de la incertidumbre de medida conforme a la norma ISO/IEC 17025. Aplicación al análisis de aguas residuales. Universidad de Valladolid. Tesis doctoral. Recuperado de: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4284>. [Consultado: 4 de octubre de 2016]

**Título:** Full Validation and Accreditation of a Method to Support Human Biomonitoring Studies for Trace and Ultra-Trace Elements.

**Autor:** Ruggier, F., Alimonti, A., Bocca, B.

**Año:** 2016.

**Objetivo:** Esta investigación muestra la realización de cada uno de los parámetros de validación en un proceso de control biológico y los criterios de aceptabilidad; además introduce un nuevo parámetro de validación que es la incertidumbre de medición.

**Resumen:**

“This work describes the full validation of a method, in a context of quality assurance (QA), for human biomonitoring (HBM) of known and emerging trace and ultra-trace elements by high-resolution-inductively coupled plasma mass spectrometry (HR-ICP-MS) in human urine, serum and blood. The validation procedure included distinct operational steps: i) definition of the fitness-for-purpose; ii) demonstration of method performances and systematic quality control (QC) measures (including the use of control charts); iii) evidence of compliance in proficiency testing (PT) exercises and accreditation to ISO/IEC 17025. The method can be applied to monitoring single elements or mixture of elements in a broad category of human samples and in populations differently exposed, as a tool for public surveillances, hot spot programs and health risk assessments. Hopefully, the protocol can be used as a guidance towards a greater harmonization of HBM procedures and comparability of HBM results on a European-wide level”<sup>8</sup>.

**Análisis crítico del artículo:**

Modelo presentado en el artículo	Modelo propuesto en esta investigación
Se demuestra aún más en la química analítica la importancia de la validación y confirmación de métodos. Se introduce como parámetro de validación la incertidumbre de medición, los procedimientos y controles de calidad internos.	Los parámetros tradicionalmente utilizados para la confirmación y validación de métodos se tendrán como un anexo de la investigación con el propósito de hacer una comparación entre estos y un diseño factorial para la confirmación de un método que es el modelo de esta investigación.

<sup>8</sup> Ruggier, F., Alimonti, A., Bocca, B. Full validation and accreditation of a method to support human biomonitoring studies for trace and ultra-trace elements. Revista científica: Trends in Analytical Chemistry 80 (2016) 471–485. Recuperado de: [file:///D:/Downloads/Ruggieri\\_FullMethodValidation\\_TrAC\\_2016.pdf](file:///D:/Downloads/Ruggieri_FullMethodValidation_TrAC_2016.pdf). [Consultado: 4 de junio de 2017]



**Criterio de búsqueda:**

- **Revista científica:** TrAC- Trends in Analytical Chemistry.
- **Frase Lógica:** Validación y acreditación.
- **Dirección (URL) encontrada:**  
file:///D:/Downloads/Ruggieri\_FullMethodValidation\_TrAC\_2016.pdf

**Título:** Validación y Verificación de Métodos de Ensayos. Un Dilema en los Laboratorios de Ensayos y en las Auditorías de la Acreditación.

**Autor:** Gustavo Delgado.

**Año:** 2009.

**Objetivo:** Este artículo explica cómo se realiza la selección de métodos, los parámetros posibles que caracterizan el desempeño del método. Los laboratorios no necesitan validar si utiliza métodos normalizados. Solamente verifican y los documentan, este criterio se tenía en el año 2009, pero ahora la verificación no es suficiente en método normalizado se debe de confirmar incluso utilizando los parámetros para la validación.

**Resumen:**

“El presente artículo tiene como objetivo fundamental establecer en forma clara y sencilla la diferencia entre validación y verificación de un método de ensayo. Se presenta una breve discusión de la selección y validación de los métodos de ensayos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2005. Se describe el proceso de normalización de un método. Se describen brevemente los parámetros de la validación como indicadores característicos del desempeño del método, brindando algunas breves orientaciones para su aplicación. Se presentan algunos contenidos de métodos normalizados, indicando las especificaciones a partir de los datos de validación. Y por último se describe el proceso de verificación y su diferencia con la validación, haciendo énfasis en la confirmación de las especificaciones del método”<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Delgado Gustavo. Validación y verificación de métodos de ensayos. Un dilema en los laboratorios de ensayos y en las auditorías de la acreditación. Universitas, Volumen 3, Número 2, 2009. <http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/universitas/article/view/25/22> . [Consultado: 8 de octubre de 2016]

**Análisis crítico del artículo:**

Modelo presentado en este artículo	Modelo propuesto en esta investigación
<p>Definen validación como la evaluación rigurosa de los parámetros de validación de un método que está en proceso de normalización.</p> <p>Como parámetros de validación de un método definen linealidad, exactitud, precisión, selectividad y especificidad, límite de detección y de cuantificación, robustez y evidencias</p>	<p>Se define validación como el proceso de establecer las características de desempeño y limitaciones de un método de medición y la identificación de aquellas influencias que pueden modificar estas características y a qué grado lo afectan.</p> <p>Esta investigación aplica un diseño de experimentos factorial para confirmar el método calorimétrico; como anexo se aplica cada uno de los parámetros considerados a realizar en los laboratorios que aplican la norma ISO 17025 (Selectividad, Linealidad, Veracidad, Precisión) para mostrar un paralelo.</p>

**Criterio de búsqueda:**

- **Revista Científica:** UNAN-León. Nicaragua.
- **Frase Lógica:** Validación de métodos.
- **Dirección (URL) encontrada:**  
<http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/universitas/article/view/25/22>

**Título:** Procedimiento para el Cálculo de Incertidumbre en la Estimación de la Potencia de Enfriamiento de Acondicionadores de Aire de Recinto.

**Autor:** Orozco Hincapié Carlos, Fonseca Díaz Néstor.

**Año:** 2006.

**Objetivo:** Este artículo explica cada uno de las incertidumbres asociadas a las pruebas para equipos acondicionadores de aire, culminando con la incertidumbre expandida, explicando cada una de las fórmulas utilizadas. Además la incertidumbre pasa a ser el último parámetro en estudio para la validación o confirmación de un método.

**Resumen:**

“Este artículo presenta la metodología propuesta para el cálculo de incertidumbre en el resultado de la estimación de la capacidad de enfriamiento, de equipos acondicionadores de aire de recinto, mediante mediciones efectuadas en el laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire LPEA-UTP. El análisis de incertidumbre, busca establecer un grado de confianza o certitud en los resultados de las pruebas y es de particular importancia si se considera que las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de análisis, son demasiado ambiguas”<sup>10</sup>.

**Análisis crítico del artículo:**

<b>Modelo presentado en este artículo</b>	<b>Modelo propuesto en esta investigación</b>
Desarrolla completamente el cálculo de incertidumbre para la capacidad de enfriamiento analizando cada una de las variables que influyen en dicho cálculo, el cálculo de incertidumbre es otro de los parámetros estudiados en una validación o confirmación de métodos.	El cálculo de incertidumbre se tiene en cuenta en el desarrollo de esta investigación; la variable de respuesta en el diseño factorial propuesto corresponde con la capacidad de enfriamiento.

**Criterio de búsqueda:**

- **Revista científica:** Scientia et technica.
- **Frase Lógica:** Cálculo de incertidumbre.
- **Dirección (URL) encontrada:**  
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6283/3517>

---

<sup>10</sup> Orozco Hincapie Carlos, Fonseca Díaz Nestor. Procedimiento para el cálculo de incertidumbre en la estimación de la potencia de enfriamiento de acondicionadores de aire de recinto. Universidad Tecnológica de Pereira. Revista Scientia et technica Vol. 3, Núm. 32 (2006). Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6283/3517>. [Consultado: 8 de octubre de 2016]

**Título:** Baldosas Cerámicas Obtenidas a Partir de Residuos de Vidrio de Envase.

**Autor:** Maisa Topanotti Daros(1), Diana de Souza Felisberto(1), Aline da Silva Pereira(1), Cláudio Roberto Peixoto Pessoa(1), Adriano Michael Bernardin(1,2).

**Año:** 2008.

**Objetivo:** En este trabajo se estudia el comportamiento de compactación de las partículas de vidrio. Los residuos de vidrio de envase fueron molidos y prensados para obtener baldosas cerámicas. Un planteamiento de diseño factorial fue usado para estudiar la influencia del tiempo de molturación, adición de ligante y plastificador y presión de prensado.

**Resumen:**

“La compactación de polvo es una ruta popular de producir componentes, seguida de la sinterización en caliente. La densificación se produce por deslizamiento y reordenación de las partículas de polvo a bajas presiones, lo cual lleva a una reorganización del polvo desde una ordenación suelta hasta un empaquetamiento compacto. En este trabajo se estudió el comportamiento de compactación de las partículas de vidrio. Los residuos de vidrio de envase fueron molidos y prensados para obtener baldosas cerámicas. Un planteamiento de diseño factorial 3k fue usado para estudiar la influencia del tiempo de molturación, ligante y adición de plastificador, y presión de prensado en la densidad aparente y carga de fractura de las baldosas. Los resultados muestran la influencia de la distribución granulométrica en el comportamiento de compactación de las baldosas cerámicas”<sup>11</sup>.

**Análisis crítico del artículo:**

Modelo presentado en este artículo	Modelo propuesto en esta investigación
Un diseño factorial 3k fue usado para determinar el comportamiento de compactación de residuos de vidrio.  Resultados presentados por medio de superficie de respuesta.	En esta investigación se desarrolla un diseño factorial para determinar la potencia de enfriamiento al realizar pruebas para equipos acondicionadores de aire. Algunos resultados se dan por medio de superficie de respuesta.

<sup>11</sup> Maisa Topanotti Daros(1), Diana de Souza Felisberto(1), Aline da Silva Pereira(1), Cláudio Roberto Peixoto Pessoa(1), Adriano Michael Bernardin(1,2). Google académico. QUALICER-Foro mundial de recubrimiento cerámico 2008. Recuperado de <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0832180s.pdf> . [Consultado: 4 de julio de 2017]

### **Criterio de búsqueda:**

- **Metabuscar:** Google académico. QUALICER-Foro mundial de recubrimiento cerámico 2008.
- **Frase Lógica:** Diseño factorial 3k.
- **Dirección (URL) encontrada:**  
<http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0832180s.pdf>

## **2.3 Marco legal.**

### **2.3.1 Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ.**

En Colombia el Ministerio de Minas y Energía aprobó el 18 de septiembre del año 2015 la resolución 41012 “Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Etiquetado- RETIQ, con fines de Uso racional de energía aplicable a algunos equipos de uso final de energía eléctrica y gas combustible, para su comercialización y uso en Colombia”<sup>12</sup>. En este reglamento en el capítulo III “Requisitos específicos de etiquetado de equipos” está considerado el artículo 7° “Acondicionadores de aire para recintos”, se determinan los rangos de desempeño energético, método de ensayo. El diseño de experimento factorial 3<sup>k</sup> se realiza específicamente para la confirmación del método descrito en esta resolución.

### **2.3.2 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE**

Mediante resolución 90708 este mismo Ministerio aprobó el 30 de agosto de 2013 el “Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)”<sup>13</sup> en el capítulo 10 Demostración de la conformidad y en su artículo 32 Mecanismos de evaluación de conformidad recurre al Subsistema Nacional de la Calidad, es decir para equipos acondicionadores de aire para el etiquetado quien es responsable es un organismo certificador de producto y a su vez el laboratorio que realiza las pruebas para determinar la eficiencia energética deben estar acreditados por el ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia), como es la condición actual del Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire de la UTP.

<sup>12</sup> Resolución 41012. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/36731-Resolucion-41012-18Sep2015.pdf> [Consultado: 12 de febrero de 2017]

<sup>13</sup> Resolución 90708. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13> [Consultado: 12 de febrero de 2017]

## 2.4 Marco normativo.

### 2.4.1 Normatividad aplicada

Se aplica la Norma NTC 4295:2005 Método de ensayo para clasificación de acondicionadores de aire para recinto, se establece el método de ensayo, la instrumentación, los requisitos del ensayo, cálculo de la capacidad de refrigeración y medición del flujo de aire. En el Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire, se aplica el numeral 4.1. “Método calorímetro: En este método, la potencia térmica del equipo se determina a partir energía adoptada o extraída por la unidad de tratamiento de aire y de las pérdidas o ganancias de calor en el módulo de ensayo, realizando un balance de energía en el mismo y el numeral 7.1 Cálculos de la capacidad de refrigeración método calorimétrico”<sup>14</sup>. Este método es el utilizado en el Laboratorio de pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire.

Norma NTC 5380:2005 (equivale a la ISO 5151) Acondicionadores de aire y bombas de calor sin conductos. Ensayo y determinación de características de desempeño. Se establece ensayos de refrigeración, ensayos de calefacción, métodos de ensayo e incertidumbre de las mediciones, resultados de ensayo, disposiciones de rotulado y publicación de las determinaciones.

En el Laboratorio se aplica el Anexo B “método de ensayo con calorímetro y el Anexo C cálculos de la capacidad de refrigeración (método del calorímetro) específicamente C.1.1”<sup>15</sup> que considera el efecto de refrigeración total de la cámara en el interior, según ensayo en el calorímetro calibrado tipo cámara o de ambiente equilibrado. La confirmación en este proyecto se hace al método calorímetro aplicado en el laboratorio.

## 2.5 Marco conceptual.

Se describen temas con el propósito de facilitar el contexto del proyecto:

### 2.5.1 Confirmación de métodos.

Aporte de evidencias objetivas para demostrar que se puede aplicar correctamente un método normalizado antes de utilizarlo en la realización de los ensayos o calibraciones en un laboratorio. Para este caso se utilizan criterios de desempeño del método o parámetros utilizando *datos experimentales* del laboratorio.

#### Validación de métodos.

La definición más adecuada según el objeto de estudio es “La validación *es la confirmación* mediante examen y la aportación de evidencias objetivas que demuestren el cumplimiento de ciertos requisitos para el uso específico previsto”<sup>16</sup>. Al referirse al método utilizado en un laboratorio de ensayos o calibración.

<sup>14</sup> Norma Técnica Colombiana (NTC 4295). (2005). Numeral 7.1 [Consultado: 10 de febrero de 2017].

<sup>15</sup> Norma Técnica Colombiana (NTC 5380). (2005). Anexo B C.1.1 [Consultado: 10 de febrero de 2017].

<sup>16</sup> NTC-ISO/IEC 17025 versión 2005. Numeral 5.4.5 [Consultado: 10 de febrero de 2017].

Para la EURACHEM la definición es “El proceso de establecer las características de desempeño y limitaciones de un método de medición y la identificación de aquellas influencias que pueden modificar estas características y a qué grado lo afectan”<sup>17</sup>.

El CENAM la describe como “La validación examina las características de desempeño de un método para identificar y establecer cualquier limitación que pueda esperarse del método cuando se aplique un tipo específico de muestras”<sup>18</sup>.

Algunas técnicas utilizadas para la validación o confirmación de métodos son:

- Evaluación del sesgo.
- Precisión usando patrones de referencia.
- Factores que influyen en el resultado.
- Variación de parámetros controlados.
- Comparación con otros métodos validados.
- Comparación interlaboratorio.
- Evaluación de la incertidumbre

Para los métodos normalizados tal es el caso del Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire, no es necesario validar el método utilizado por el laboratorio. Sin embargo es necesario verificar el desempeño del método mediante una confirmación.

Un diagrama que establece una secuencia para verificar el desempeño del método y que define criterios de desempeño es el que se muestra en la Figura 5; las siguientes definiciones corresponden con la aclaración de cada uno de los conceptos establecidos en esta secuencia:

### **Método normalizado**

“Un método normalizado, es aquel que se describe en una norma y por lo tanto el laboratorio, para demostrar que lo ejecuta correctamente, sólo debe verificarlo mediante la confirmación. Esto significa que debe demostrar que puede alcanzar la performance adecuada para ciertos parámetros de validación. Si bien no se pueden establecer criterios rígidos con respecto a qué parámetros verificar, es habitual que se controlen la precisión y la veracidad, en particular cuando estos parámetros están indicados en las normas de referencia. También se confirma el método a través de la participación en ensayos de aptitud y la elaboración de gráficos de control”<sup>19</sup>.

En el marco de la acreditación de laboratorios se consideran métodos “normalizados” a:

- Métodos publicados por organismos de normalización internacional, regional o nacional, ej.: ISO, EN, NM, ASTM, BS, DIN, IRAM, etc.

---

<sup>17</sup> EURACHEM .The fitness for Purpose of Analytical Methods.

<sup>18</sup> CENAM Centro Nacional de Metrología de México.

<sup>19</sup> Instituto de Salud Pública. (2010). Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición. Aspectos generales sobre la validación de métodos.

- Métodos publicados por organizaciones reconocidas en diferentes ámbitos, ej: AOAC, FIL-IDF, EPA, SMW&W, USP, etc.

### **Método normalizado modificado.**

Un método normalizado modificado, es aquel donde se han generado modificaciones al método descrito en la norma, ejemplo: método de extracción diferente, otra matriz, extensión del rango entre otras.

Los métodos normalizados que han sido modificados deben ser validados de tal forma que se pueda evaluar la incidencia que tienen los cambios realizados sobre los distintos parámetros de validación.

### **Método no normalizado, nuevo desarrollado por el laboratorio.**

Se considera como un método de ensayo desarrollado internamente o los métodos obtenidos de bibliografía que no presenten valores de performance declarados, deberán ser validados completamente, es decir, sacado de la bibliografía pero sin datos de experimentales del método.

### **Método no normalizado, aceptado y usado.**

Se trata de un método de ensayo aceptado entre un gremio o grupo de laboratorios, sacado de la bibliografía con datos experimentales del método.

### **Validación prospectiva.**

Esta consiste en *generar datos* experimentales del laboratorio para llevar a cabo la validación, cuyos datos son generados a través de ensayos realizados a clientes o exclusivamente para el proceso de validación.

### **Validación retrospectiva.**

Esta consiste en utilizar datos experimentales que el laboratorio dispone, para la cual se realizará la recopilación de la mayor cantidad de *datos históricos disponibles*, para luego realizar un proceso de ordenamiento y selección de los datos recopilados, estos datos pueden ser: curvas de calibración, resultados de ensayos, cartas de control, ensayos de aptitud.

### **Selección de la prueba.**

Cada laboratorio selecciona la(s) prueba(s) dónde los datos aportados, serán los utilizados en el proceso de validación y confirmación.

En esta selección se define el número de pruebas, los responsables y las fechas. Los equipos a utilizar y los materiales de referencia. Para los equipos es necesario que el laboratorio haya realizado la segunda etapa de la calibración que corresponde con la verificación del último certificado de calibración, el estado de error y la incertidumbre con respecto a la tolerancia, el estudio de tendencias



de acuerdo a los datos reportados en el certificado. Los materiales de referencia a utilizarse en las pruebas.

### **Plan de validación o confirmación.**

En este plan se contemplan cuatro puntos trascendentales en un proceso de validación; alcance de la validación o confirmación, selección de las pruebas, diseño de experimentos especificando los parámetros a evaluar y la aprobación y modificación al plan, de tal manera que se visualice y desarrolle.

### **Parámetros (Criterios de desempeño del método).**

“La validación de un método de análisis implica demostrar que es adecuado para la aplicación que se pretende y que proporciona resultados de calidad. La calidad de los resultados obtenidos en un ensayo se demuestra realizando estudios de laboratorio que se concretan en unos parámetros o características de validación (Eurachem/Citac, 1998; Taverniers et al., 2004). Dichos parámetros se clasifican en parámetros de gestión, que son aquellos inherentes a la organización del laboratorio, y parámetros técnicos, que son característicos del método como se ve en la Tabla 3 (Feinberg et al., 2004; Hubert, 2007)”<sup>20</sup>.

**Tabla 3. Clasificación de los parámetros de validación.**

Parámetros de gestión	Parámetros económicos (Díaz-Guerra et al., 2000; Feinberg et al., 2004)	Inversión inicial Costos de puesta a punto del método Costos en función del n° de muestras/día Costos de formación Sueldo del personal calificado Costos generales de laboratorio...
	Parámetros operativos o productivos (Díaz-Guerra et al., 2000; Feinberg et al., 2004)	Rapidez, Grado de automatización Factores humanos: competencia del personal, Seguridad e higiene... Necesidades energéticas y de espacio...

<sup>20</sup> Hernandez Revilla Martha. (2013). Tesis doctoral: Validación de métodos de ensayo y estimación de la incertidumbre de medida conforme a la norma ISO/IEC 17025. Aplicación al análisis de aguas residuales y continentales. Universidad de Valladolid Facultad de ciencias página 11

Parámetros técnicos	Parámetros técnicos de prevalidación (Muñoz Benito 2001; Ramis Ramos et al., 2001)	Robustez Representatividad
	Parámetros técnicos de validación (Díaz-Guerra et al., 2000; Eurachem/Citac, 1998; Eurachem/Citac, 2012; Hubert, 2007; Muñoz Benito 2001; Massart et al., 1997; Prichard et al., 2007; Ramis Ramos et al., 2001; Rius et al., 2000; Thompson et al., 2002)	Selectividad/Especificidad Intervalo de trabajo o rango de ensayo, intervalo lineal y linealidad Sensibilidad Límite de detección y cuantificación Exactitud: veracidad (sesgo) y precisión (repetitibilidad, reproducibilidad) Incertidumbre Recuperación Intervalo de medida/Límite superior

*Fuente. Hernandez Revilla Martha. (2013). Tesis doctoral: Validación de métodos de ensayo y estimación de la incertidumbre de medida conforme a la norma ISO/IEC 17025. Aplicación al análisis de aguas residuales y continentales. Universidad de Valladolid Facultad de ciencias página 11.*

**Parámetros de gestión:** Para el Laboratorio de Pruebas y Ensayos de Equipos de Aire Acondicionado los *parámetros económicos* ya habían sido asumidos por la Universidad, proyecto iniciado en el año 2006 y en este incluidos los *parámetros operativos* dentro del mismo, desde la automatización del software hasta el espacio para las operaciones y puesta a punto del laboratorio.

**Parámetros técnicos:** Los parámetros técnicos se determinan de acuerdo al tipo de método, antes de iniciar es indispensable conocer los procedimientos utilizados para el desarrollo del mismo.

### 2.5.2 Diseño de experimentos

El procedimiento para desarrollar las etapas y actividades de planeación y análisis del experimento se plantea según Gutiérrez-De la Vara (2008) iniciando con el ciclo de Deming y luego con la Planeación y diseño, Análisis e interpretación y Conclusiones finales<sup>21</sup>.

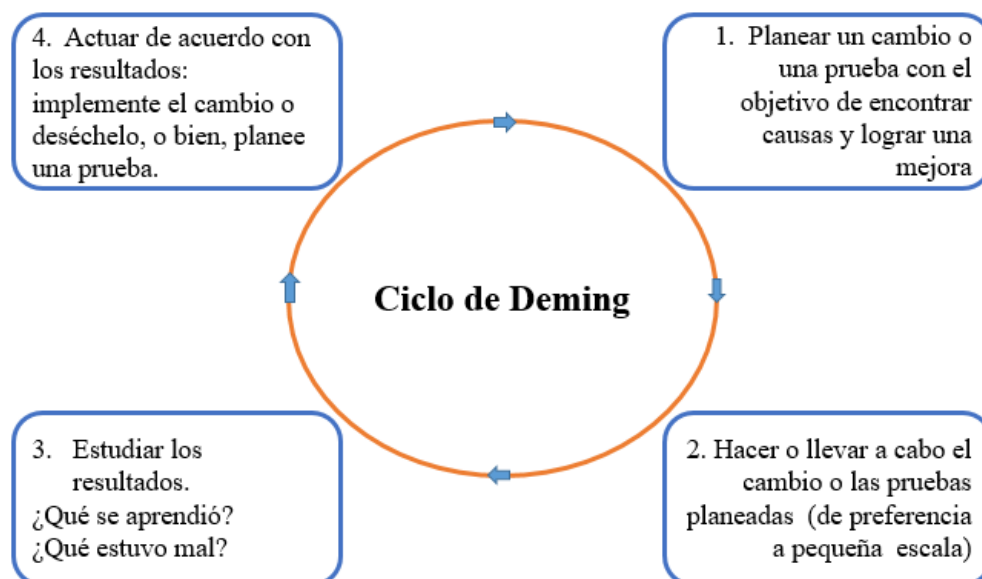
El ciclo de Deming en el contexto de un diseño de experimentos se visualiza en la Figura 5<sup>22</sup> y se explica en la Tabla 4<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

<sup>22</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill

<sup>23</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill

**Figura 6. Ciclo de Deming y los experimentos.**



**Fuente:** GUTIÉRREZ- DE LA VARA. *Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición*, editorial Mc Graw Hill.

**Tabla 4. Ciclo de Deming en un experimento.**

Ciclo de Deming en un experimento	
<b>Planear un experimento</b>	Lo primero es localizar un problema importante que sea susceptible de atacarse con diseño de experimentos. Una vez ubicado el problema se determina los factores controlables que pudieran tener alguna influencia sobre las características de calidad de interés. Se diseña el plan experimental más adecuado a la situación, con lo cual quedan especificadas las corridas del proceso que han de realizarse: cuáles tratamientos y cuántas repeticiones de cada uno.
<b>Hacer las corridas experimentales</b>	Se prueba el proceso en cada tratamiento especificado en la etapa de planeación. Las corridas se hacen en orden aleatorio y de acuerdo al plan experimental seleccionado.
<b>Verificar o analizar los resultados</b>	Consiste en analizar los datos con las técnicas adecuadas. Verificar los supuestos y determinar el mejor tratamiento (o tratamiento ganador) para la variable de respuesta que es objeto de estudio.

<b>Ciclo de Deming en un experimento</b>	
<b>Actuar de acuerdo a los resultados</b>	Hacer pruebas confirmatorias para tener una mejor representatividad del desempeño del proceso en el nuevo tratamiento. Con base en lo aprendido es posible planear otro experimento y repetir el ciclo de Deming. Cada vuelta al ciclo implica necesariamente mejoras.

*Fuente: GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.*

Continuando con las etapas y actividades se plantea la Planeación y diseño Tabla 5<sup>24</sup>.

**Tabla 5. Planeación y diseño en un experimento.**

<b>Planeación y Diseño en un experimento</b>	
<b>1. Definir el problema o el objetivo.</b>	Entender el problema o el objetivo que se busca al experimentar. a) Título al estudio experimental que defina la intención general. b) Describir el problema de por qué es importante hacer el estudio. c) Especificar la manera en que se medirá el proyecto experimental (indicadores). d) Comentar que se hace actualmente para atenuar el problema o experimentos anteriores. e) Definir el objetivo que se persigue al realizar el experimento.
<b>2. Hacer un esquema del estudio donde se señale el problema planteado.</b>	Definir: a) Variables de salida (respuestas). b) Variables de operación (parámetros) del proceso. c) Principales entradas (materiales, sustancias)

<sup>24</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill

<b>Planeación y Diseño en un experimento</b>	
<b>3. Determinar los factores (causas) que deben investigarse, de acuerdo a su posible impacto en el problema.</b>	<p>Desarrollar las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Hacer una lista de todas las posibles causas o variables independientes involucradas en el problema.</li> <li>b) Para cada una de las causas (factores), señalar como se corroborarían, con una prueba experimental.</li> <li>c) Decidir sobre los factores a estudiar. La recomendación es incluir en el experimento a cada factor que pueda tener una influencia importante en la respuesta.</li> <li>d) Elegir los niveles de prueba para cada factor. Es importante la separación que se elija entre un nivel y otro en un factor dado.</li> </ul>
<b>4. Elegir las variables de respuesta que será(n) medida(s) y verificar que se mide de manera confiable.</b>	<p>Desarrollar las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Lista de las variables de salida en donde se espera que se reflejen los cambios en los factores controlados que se estudiarán.</li> <li>b) Seleccionar una o varias tomando en cuenta la factibilidad con la que se puede medir, el mayor impacto que tendrían sobre ella los factores a estudiar y que reflejen mejor la magnitud del problema. Y aquellas que puedan resultar afectadas por los cambios.</li> <li>c) Asegurar que las variables seleccionadas se puedan medir de manera confiable.</li> </ul>
<b>5. Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Determinar si es factible aplicar un diseño factorial, es decir, verificar, si es posible correr en el proceso cualquier combinación.</li> <li>b) Decidir en qué consistirá cada prueba</li> <li>c) Proponer un primer diseño que tome en cuenta el número total de corridas, costos, tiempos.</li> <li>d) Investigar si hay algún factor de ruido o bloque que podría estar actuando durante el experimento.</li> <li>e) Definir el diseño específico que se correrá incluyendo el orden (aleatorio) en el que se efectuarán las pruebas.</li> </ul>

<b>Planeación y Diseño en un experimento</b>	
<b>6. Planear y organizar el trabajo experimental.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Diseñar una hoja de trabajo en la que se especifique de manera clara cada prueba, el orden en que será corrida y la forma en que se medirán los resultados o se colectarán los datos de la prueba.</li> <li>b) Definir a los responsables del proyecto, a las personas que van a efectuar los experimentos, así como las instrucciones.</li> <li>c) Detallar instrucciones específicas que se seguirán en ciertas pruebas experimentales.</li> <li>d) Completar todos los detalles de logística, como días, hora, materiales que se utilizarán y equipos e instrumentos de medición dónde se harán las pruebas.</li> <li>e) Prever algunas posibles contingencias que podrían ocurrir durante el experimento, así como las acciones a realizar en caso de que ocurrieran.</li> <li>f) Si es posible hacer una prueba de ensayo con todos los implicados con miras a afinar imprevistos.</li> </ul>
<b>7. Realizar el experimento.</b>	Aplicar el plan previsto y en caso de alguna contingencia reportar y decidir qué hacer.

*Fuente: GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.*

El análisis y la interpretación y las conclusiones finales se plantean en la Tabla 6<sup>25</sup>.

**Tabla 6. Análisis, interpretación y conclusiones.**

<b>Análisis, interpretación y conclusiones de un experimento</b>	
<b>1. Hacer análisis detallado de los resultados experimentales.</b>	Antes del análisis, es necesario verificar los datos para que no haya errores obvios en su registro, así como detectar a simple vista las principales tendencias.

<sup>25</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill

<b>Análisis, interpretación y conclusiones de un experimento</b>	
<b>2. Interpretación de resultados.</b>	<p>Una vez se tiene el mejor ANOVA, se analiza en detalle el experimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ver los factores y efectos que influyeron de manera significativa en las diferentes variables de respuesta, y señalar los factores que no tuvieron un impacto considerable.</li> <li>b) Interpretar con detalle los efectos más significativos por cada variable de respuesta, considerar la manera en que la variable de respuesta responde a los cambios en los diferentes factores.</li> <li>c) Encontrar el tratamiento ganador, es decir, en qué condiciones se propone operar el proceso.</li> <li>d) Verificar los supuestos del modelo, que por lo general son normalidad, varianza constante e independencia de los resultados. Si los supuestos se violan gravemente, ver en qué sentido afectan a las conclusiones.</li> <li>e) Determinar cuál es la respuesta esperada en el mejor tratamiento.</li> </ul>
<b>3. Hacer corridas confirmatorias del proceso en el mejor tratamiento.</b>	<p>Emplear suficientes repeticiones para que se tenga una buena estimación de lo logrado.</p>
<b>4. Conclusiones finales.</b>	<p>Cerrar y concluir el proyecto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Decidir qué medidas implementar para generaliza el resultado del estudio y garantizar que las mejores se mantengan.</li> <li>b) Hacer un resumen de los principales resultados logrados desde el punto de vista técnico.</li> <li>c) Hacer una evaluación de los logros obtenidos con el proyecto.</li> <li>d) Presentar el proyecto y difundirlo.</li> </ul>

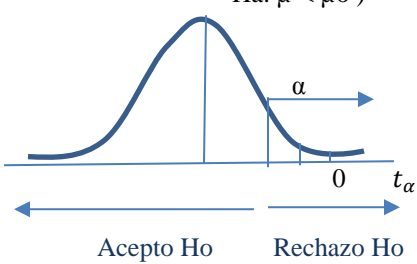
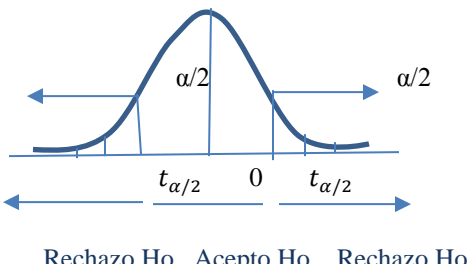
*Fuente: GUITIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill*

### Distribuciones de probabilidad.

Las distribuciones de probabilidad utilizadas y aplicadas para el diseño de experimentos en esta investigación:

- Para la prueba t-student<sup>26</sup> se sigue la Figura 7.
- Para la prueba F-Fisher<sup>27</sup> se sigue la Figura 8.

**Figura 7. Prueba de Hipótesis con Muestras Pequeñas para la Media Poblacional.**

1. Hipótesis nula: $H_0: \mu = \mu_0$	
2. Hipótesis alternativa:	
<b>Prueba de una cola</b> $H_a: \mu > \mu_0$ (o bien $H_a: \mu < \mu_0$ )	<b>Prueba de dos colas</b> $H_a: \mu \neq \mu_0$
3. Estadística de prueba: $t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$	
4. Región de rechazo	
<p style="text-align: center;"><b>Prueba de una cola</b></p> <p><math>t &gt; t_\alpha</math> (O sea, <math>t &lt; -t_\alpha</math> cuando la hipótesis alternativa <math>H_a: \mu &lt; \mu_0</math>)</p> 	<p style="text-align: center;"><b>Prueba de dos colas</b></p> <p><math>t &gt; t_{\alpha/2}</math> o bien <math>t &lt; -t_{\alpha/2}</math></p> 
<p>Los valores <math>t</math>, <math>t_\alpha</math> y <math>t_{\alpha/2}</math> se basan en <math>(n-1)</math> grados de libertad. Estos valores críticos tabulados se encuentran en las tablas para T-student.</p>	

<sup>26</sup> Mendenhall Willian. Estadística para administradores (1990). Grupo editorial Iberoamérica. Página 284.

<sup>27</sup> Mendenhall Willian. Estadística para administradores (1990). Grupo editorial Iberoamérica página 319.



## 5. Conclusión:

Si  $t_{prueba} > t_{calculado(tabla\ t-student)}$  Se rechaza la  $H_0$

Si  $t_{prueba} < t_{calculado(tabla\ t-student)}$  Se acepta la  $H_0$

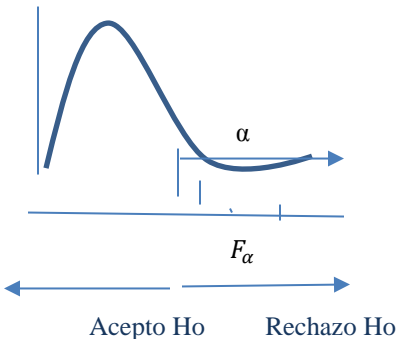
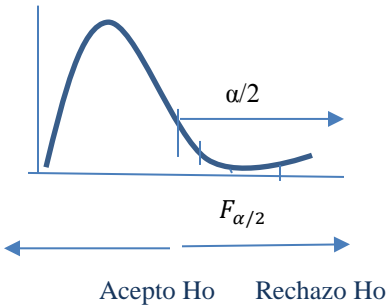
Otra forma de concluir es utilizando el nivel de significancia observado o Valor P:

Si el *Valor P*  $< \alpha$  Se rechaza la  $H_0$

Si el *Valor P*  $> \alpha$  Se acepta la  $H_0$

**Fuente.** Mendenhall Willian. Estadística para administradores (1990). Grupo editorial Iberoamérica. Página 284.

**Figura 8. Prueba de Hipótesis Igualdad de Varianzas Poblacionales.**

1. Hipótesis nula: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	
2. Hipótesis alternativa:	
<p><b>Prueba de una cola</b></p> <p><math>H_a: \sigma_1^2 &gt; \sigma_2^2</math></p> <p>(o bien <math>H_a: \sigma_2^2 &gt; \sigma_1^2</math>)</p>	<p><b>Prueba de dos colas</b></p> <p>1. <math>H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2</math></p>
3. Estadística de prueba:	
<p><b>Prueba de una cola</b></p> $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ <p>(o bien, <math>F = \frac{S_2^2}{S_1^2}</math> para <math>H_a: \sigma_2^2 &gt; \sigma_1^2</math>)</p>	<p><b>Prueba de do colas</b></p> $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ <p>,donde <math>S_1^2</math> es la mayor variancia muestral</p>
4. Región de rechazo	
<p><b>Prueba de una cola</b></p> $F > F_\alpha$ 	<p><b>Prueba de dos colas</b></p> $F > F_{\alpha/2}$ 

Cuando  $F = S_1^2/S_2^2$ , los valores críticos,  $F_\alpha$  y  $F_{\alpha/2}$  se basan en  $v_1=n_1-1$  y  $v_2=n_2-1$  grados de libertad. Los diferentes valores para  $\alpha$  se encuentran en la Tabla F-Fisher

5. Conclusión:

Si  $F_{prueba} > F_{calculado(tabla\ F-Fisher)}$  Se rechaza la  $H_0$

Si  $F_{prueba} < F_{calculado(tabla\ F-Fisher)}$  Se acepta la  $H_0$

Otra forma de concluir es utilizando el nivel de significancia observado o Valor P:

Si el  $Valor\ P < \alpha$  Se rechaza la  $H_0$

Si el  $Valor\ P > \alpha$  Se acepta la  $H_0$

*Fuente. Mendenhall Willian. Estadística para administradores (1990). Grupo editorial Iberoamérica página 319.*

## 2.6 Marco teórico

Se definen los siguientes conceptos relacionados con el tema objeto de investigación.

### 2.6.1 Diseño de experimentos.

Una manera eficaz de hacer pruebas es por medio del diseño de experimentos, se define este concepto que “Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación”.<sup>28</sup> Plantea problemas típicos que se pueden resolver con el diseño y análisis de experimentos, lo importante es conocer el problema para luego obtener los datos y en la medida de lo posible reducir las pérdidas.

De acuerdo a la clasificación de los diseños de experimentos se estudia en esta investigación<sup>29</sup>:

- Diseño para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s):  
Diseño factorial  $3^k$
- Diseño para la optimización de procesos:  
Diseño para el modelo de segundo orden – Diseño factorial  $3^k$

### 2.6.2 Diseño factorial $3^k$ .

Este diseño se define como “Modelo que considera k factores con tres niveles cada uno y tiene  $3^k$  tratamientos”<sup>30</sup>. Se realiza la investigación con este modelo ya que la variable de respuesta

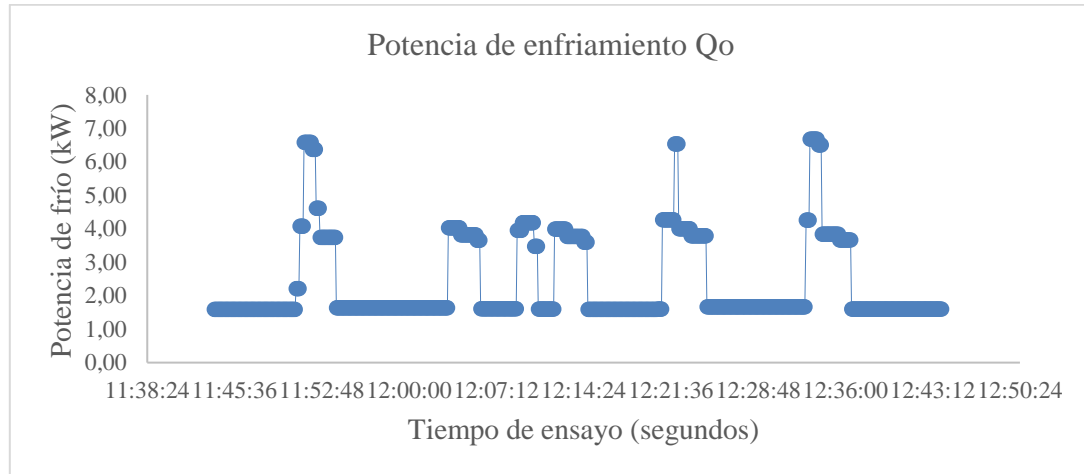
<sup>28</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

<sup>29</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

<sup>30</sup> GUTIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

(potencia e enfriamiento en los equipos acondicionadores de aire), no es lineal, ni aproximadamente lineal como se muestra en resultados obtenidos en el Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire Figura 9.

**Figura 9. Resultado Potencia de Enfriamiento cada 5 segundos.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.6.3 Diseño de segundo orden.

Se denominan diseños de segundo orden “aquellos que permiten ajustar un modelo de segundo orden para así estudiar, además de los efectos lineales y de interacción, los efectos cuadráticos o de curvatura pura”<sup>31</sup>.

## 2.7 Glosario.

Se presenta definiciones relacionadas con el tema de investigación:

*“Definiciones relacionadas con diseño factorial.*

- *Variable de respuesta.*  
A través de esta(s) variables(s) se conoce el efecto de los resultados de cada prueba experimental, por lo que pueden ser características de la calidad de un producto y/o variables que miden el desempeño de un proceso.
- *Factores controlables.*  
Son variables de proceso y/o características de los materiales y los métodos experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso, y se distinguen porque, para cada uno de ellos, existe

<sup>31</sup> GUITIÉRREZ- DE LA VARA. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

la manera o el mecanismo para cambiar o manipula su nivel de operación. Esto último es lo que hace posible que se pueda experimentar con ellos.

- *Factores no controlables.*  
Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso.
- *Niveles y tratamientos.*  
Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño de experimentos se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño.
- *Curvatura pura.*  
Diferencia entre la pendiente del segundo y la del primer segmento. De esto se deduce que mayor diferencia en tales pendientes mayor es la curvatura.
- *Parte lineal de un efecto.*  
Mide el cambio en la respuesta obtenida en los niveles extremos de un factor.
- *ANOVA desglosada.*  
ANOVA en el que los efectos compuestos se separan en sus efectos más simples que los conforman. Por ejemplo, el efecto A se separa en sus partes lineal y cuadrática.
- *Metodología de la superficie de respuesta MSR).*  
Estrategia experimental y de modelación que permite encontrar condiciones de operación óptima de un proceso.

**Fuentes consultadas:**

- ✓ Gutiérrez-De la Vara. Análisis y Diseño de Experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill”<sup>32</sup>.

*“Definiciones relacionadas con confirmación de métodos y las variables a estudiar.*

- *Confirmación de método.*  
Demostrar que se puede aplicar correctamente un método normalizado.
- *Laboratorio de Pruebas a Equipos Acondicionadores de Aire (LPEA).*  
Laboratorio que pertenece a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira en el cuál se realizan ensayos a equipos acondicionadores de aire.
- *Acondicionadores de aire para recinto.*  
Conjunto ensamblado y protegido en una caja, diseñado como una unidad para instalar en una ventana, a través de una pared o como consola. Se diseña, principalmente, para proporcionar

---

<sup>32</sup> Gutiérrez-De la Vara. Análisis y Diseño de Experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill

un caudal libre de aire acondicionado en un espacio, una zona o un cuarto cerrado. Incluye una unidad de enfriamiento, la cual enfría y deshumecta el aire, y los medios para circulación o purificación del aire. Adicionalmente puede incluir medios para ventilación y calefacción. (Ver figura 10).

**Figura 10. Acondicionadores de Aire para Recinto.**



*Fuente: Elaboración propia.*

- *Capacidad de enfriamiento.*  
Medida de la cantidad de calor extraído por un acondicionador de aire de un espacio, una zona o un cuarto cerrado.
- *Capacidad nominal de enfriamiento.*  
Capacidad de enfriamiento declarada por el fabricante.
- *Capacidad de enfriamiento efectiva.*  
Medida del calor efectivo extraído por un acondicionador de aire de un espacio, una zona o un cuarto cerrado.
- *Eficiencia energética (E.E).*  
Valor que representa la eficiencia eléctrica relativa de un acondicionador de aire para recintos. Tal proporción se obtiene dividiendo la capacidad de enfriamiento medida entre la potencia eléctrica promedio medida, durante la determinación de la capacidad de enfriamiento.
- *Potencia eléctrica promedio de entrada a la unidad.*  
Es el valor promedio, en W, de las mediciones de la potencia eléctrica de entrada durante el ensayo para la determinación de la capacidad de enfriamiento.

**Fuentes consultadas:**

- ✓ Gutiérrez-De la Vara. Análisis y Diseño de Experimentos. Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.

### 3 El Diseño Metodológico.

El presente Capítulo contiene:

- Universo
- Población o muestra
- Tipo de investigación
- Delimitación
- Variables e indicadores
- Instrumentos para recolección de información
- Procesamiento y análisis de información
- Productos a obtener
- Cronograma
- Presupuesto

#### 3.1 Universo.

La siguiente investigación se realizará en el Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire de la Universidad Tecnológica de Pereira con los ensayos realizados a equipos de diferentes marcas comerciales.

#### 3.2 Población o muestra.

##### 3.2.1 Población.

La población de este estudio está constituida por la información proveniente de las mediciones de las pruebas realizadas a los equipos acondicionadores de aire tipo recinto. La población así obtenida comprende 3 equipos por marca, para 4 marcas diferentes, para el estudio se nombraron como: marca 1, marca 2, marca 3 y marca 4. Y a cada equipo se le realizaron pruebas. Cada prueba arroja 1459 datos primarios. Es decir un total de 17508 datos.

Para efectos de esta investigación, por tratarse de un estudio de confirmación de métodos, se trabaja con la totalidad de los datos de la población.

##### 3.2.2 Muestra.

Con base en lo explicado en el numeral anterior, no aplica la toma de muestra.

#### 3.3 Tipo de investigación y de estudio

**Tipo de Investigación:** Este estudio se considera de tipo exploratorio porque el autor tiene el conocimiento previo del problema de investigación, gracias a su experiencia se realizó este estudio, y por el uso de trabajos de investigación realizados por otros investigadores que le aportaron al proyecto. Adicionalmente, se hizo uso de información no documentada con la colaboración de los diferentes funcionarios del LPE y se espera que los resultados generen valor y puedan consolidar nuevas investigaciones. También se utiliza el método deductivo porque se parte de lo general hacia lo particular, es decir, tras observar la variabilidad en los resultados de las mediciones de laboratorio,

se investigan sus causas por medio del análisis de los instructivos usados por el personal del laboratorio en la realización de las pruebas a los acondicionadores de aire se hace uso del método de análisis y síntesis, ya que se explican las relaciones causa-efecto entre las variables estudiadas y se explican los resultados obtenidos tras dicho análisis

**Tipo de Estudio:** Se considera de tipo descriptivo porque se estudiaron variables y su correlación. Adicionalmente se usaron técnicas específicas para la recolección de información, se consultaron informes o documentos realizados por otros investigadores, tratamiento de la información a través de codificación, tabulación y análisis estadísticos por medio del diseño de experimentos.

### 3.4 Delimitación del estudio.

Comprende:

- **Delimitación temática:** Confirmación del método calorimétrico utilizado en el LPEA.
- **Delimitación espacial:** Universidad Tecnológica de Pereira. Municipio de Pereira. Departamento de Risaralda.
- **Delimitación demográfica:** Usuarios de pruebas a equipos acondicionadores de aire. Funcionarios del LPEA y clientes.
- **Delimitación temporal:** 10 meses calendario a partir del momento de la conceptualización y aprobación del anteproyecto.

### 3.5 Variables e indicadores del estudio.

En concordancia con la hipótesis y los objetivos definidos, son variables e indicadores las siguientes:

**Tabla 7. Variables del Estudio.**

Objetivos Específicos	Variables	Definición de la Variable	Indicadores
Realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio	Capacidad de enfriamiento	Cantidad de calor extraído por un acondicionador de aire de un espacio, una zona o un cuarto cerrado.	Dato arrojado del equipo bajo prueba
Realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio	Eficiencia energética	Eficiencia eléctrica relativa de un acondicionador de aire.	Dato arrojado del equipo bajo prueba
Realizar las pruebas experimentales en el Laboratorio	Potencia de consumo	Promedio de la potencia demandada.	Dato arrojado del equipo bajo prueba

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.6 Instrumentos para recolección de información

La información será recolectada a través de los siguientes medios:

#### 3.6.1 Información primaria

Para recolectar información primaria se obtendrá directamente del laboratorio durante las pruebas en el LPEA Tabla 8.

**Tabla 8. Adquisición de datos.**

	<b>VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES, INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN</b>  <b>ADQUISICIÓN DE DATOS</b>		Código	123-LPEA-F10
			Versión	3
			Fecha	2016-07-06
			Página	1 de 1

<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire
---------------------	--

<b>Tipo de equipo:</b>	Acondicionador de aire tipo ventana		
<b>COMPONENTE:</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>NÚMERO DE SERIE</b>
<b>Unidad Interior</b>			
<b>Unidad Exterior</b>			

Tiempo de muestreo (s)	Fecha	Hora	SPT1 (kW)	Wr Corr (kg)	STA15	STA5	Pot. Demandada SPT4 (kW)	hw1 (KJ/Kg)	Hw2 (KJ/Kg)	Pot. Enfriamiento Qo (KW)	H2O Adicionada (kg)
0											
5											
10											
.											
.											
7295											

*Fuente: Formato laboratorio LPEA.*

#### 3.6.2 Información secundaria

Para este proyecto se han consultado libros, publicaciones periódicas y otro tipo de textos no elaborados por el investigador.

### 3.7 Procesamiento análisis de información.

La información recolectada en este proyecto es sometida a un diseño factorial para su análisis a través de diseño de experimentos utilizando el software minitab17. Además para hacer la comparación con los parámetros utilizados frecuentemente en la confirmación de métodos en los laboratorios mediante estadística descriptiva con el mismo software.



### 3.8 Producto a generar.

Coherentemente con los objetivos específicos y la metodología planteada, los resultados o productos, se clasifican en cuatro categorías:

- **Productos relacionados con nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico:**

*Tabla 9. Generación de nuevo conocimiento.*

Producto esperado	Breve descripción del producto	Indicador	Beneficiario
Confirmación del Método en los Ensayos a Equipos Acondicionadores de Aire por Diseño de Experimentos 3 <sup>k</sup>	Confirmación práctica de la metodología propuesta, con la consecución de los resultados derivados de la implementación.	Metodología elaborada y validada.	Personal Académico y Administrativo Universidad Tecnológica de Pereira.

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Contribución al fortalecimiento de la comunidad científica:**

*Tabla 10. Fortalecimiento de la comunidad científica.*

Producto esperado	Breve descripción del producto	Indicador	Beneficiario
Trabajo de grado de Maestría aprobado.	Requisito académico para obtener el título de Magister correspondiente.	Trabajo evaluado y aprobado.	Autores del Trabajo de grado.  Comunidad Académica y Administrativa.  Programa de Maestría Investigación Operativa y Estadística

*Fuente: Elaboración Propia.*

- **Difusión y apropiación social del conocimiento:**

*Tabla 11. Difusión del conocimiento.*

Producto esperado	Breve descripción del producto	Indicador	Beneficiario
Trabajo de grado publicado en el repositorio virtual	Publicación Trabajo de grado en la biblioteca de la Universidad.	Trabajo de grado publicado	Comunidad Universitaria.

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Impactos esperados.**

*Tabla 12. Impactos esperados.*

Producto esperado	Plazo (años) después de finalizado el proyecto	Indicador verificable	Supuestos
Brindar una metodología para la Confirmación del Método en los Ensayos a Equipos Acondicionadores de Aire por Diseño de Experimentos 3 <sup>k</sup> para el LPEA de la Universidad Tecnológica de Pereira	Dos años.	Número de laboratorios utilizando la metodología.	Implementación completa de la propuesta presentada.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Nota:** Los supuestos indican los acontecimientos, las condiciones o las decisiones, necesarias para que se logre el impacto esperado.

## 4. Resultados de las Diferentes Fases de la Investigación.

### 4.1 Fase 1. Análisis de las variables que serán utilizadas en la validación y confirmación.

#### 4.1.1 Análisis de la capacidad de enfriamiento.

La capacidad de enfriamiento es la medida de la cantidad de calor extraído por un acondicionador de aire de un espacio, una zona o un cuarto cerrado.

El laboratorio calcula la capacidad de enfriamiento de la unidad bajo ensayo a partir del balance de calor de la cámara interior (del lado del evaporador) y mediciones independientes de los flujos de calor involucrados. Un segundo método ó de confirmación del resultado anterior, consiste en evaluar la capacidad de enfriamiento del equipo bajo ensayo mediante un balance de la cámara exterior (lado del condensador) y mediciones independientes en esta cámara de todos los flujos de calor involucrados. El cálculo de la capacidad de enfriamiento se realiza según la sección 7.1 de la norma NTC 4295, o el ANEXO C sección C.4.1 ecuación C.1 ISO 5151 así:

$$\phi_{tci} = \Sigma P_r + [h_{w;1} - h_{w;2}] \cdot W_r + \phi_{lp} + \phi_{lr} \quad [W]$$

Donde:

$\Sigma P_r$  [W] = Potencia eléctrica de todos los equipos ubicados dentro de la cámara interior. Se mide directamente.

$W_r$  [gr /s] = Flujo de agua suministrada a la cámara por el sistema de humidificación del equipo AA1 para mantener las condiciones de humedad establecidas. Se mide directamente. (Debe ser equivalente a la cantidad de agua condensada en la unidad bajo ensayo). Para efectos de su evaluación se debe calcular  $W_r = W_r(i+1) - W_r(i)$ , donde  $i$  es el tiempo de muestreo, que puede ser cada 10 segundos o cada minuto y la humedad agregada al inicio es  $W_r(0) = 0$ .

$h_{w;1}$  [kJ/kg]: Entalpía del agua o vapor suministrada para mantener la humedad de la cámara interior. Se calculada a la temperatura del agua suministrada al recinto por sistema humidificador del equipo AA1 (TH2O;hum;AA1). Cuando no se introduce agua, se calcula a la temperatura del depósito del sistema humidificador de equipo AA1 (T H2O; tanq;AA1).

$h_{w;2}$  [kJ/kg]: Entalpía del condensado que abandona la cámara interior, se calcula a la temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida del equipo reacondicionado AA1 (Ta;sal;AA1;bh), o en su defecto la de dew-pont o rocío.

Donde:

$T_{a;sal;AA1;dp}$  [°C] : Temperatura de dew point a la salida del equipo reacondicionador AA1

$\phi_{lp}$  [W] : Perdidas de calor a través del tabique de separación.

$\phi_{lr}$  [W] : Perdidas de calor a través de las paredes de la cámara interior, sin considerar el tabique de separación.

#### 4.1.2 Análisis de la eficiencia energética.

Valor que representa la eficiencia eléctrica relativa de un acondicionador de aire para recintos. Tal proporción se obtiene dividiendo la capacidad de enfriamiento medida en entre la potencia eléctrica promedio medida, durante la determinación de la capacidad de enfriamiento así:

$$COP = \frac{\phi_{tci}}{\dot{W}_{cons;UT}} \quad [\text{Adimensional}]$$

Donde:

$\phi_{tci}$  [kW] : capacidad de enfriamiento de la unidad bajo ensayo calculada a partir del balance de la cámara interior (método principal).

$\dot{W}_{cons;UT}$  [kW] : es la potencia eléctrica total consumida por la unidad bajo ensayo. (Medida directamente durante los ensayos)

#### 4.1.3 Análisis de la potencia de consumo.

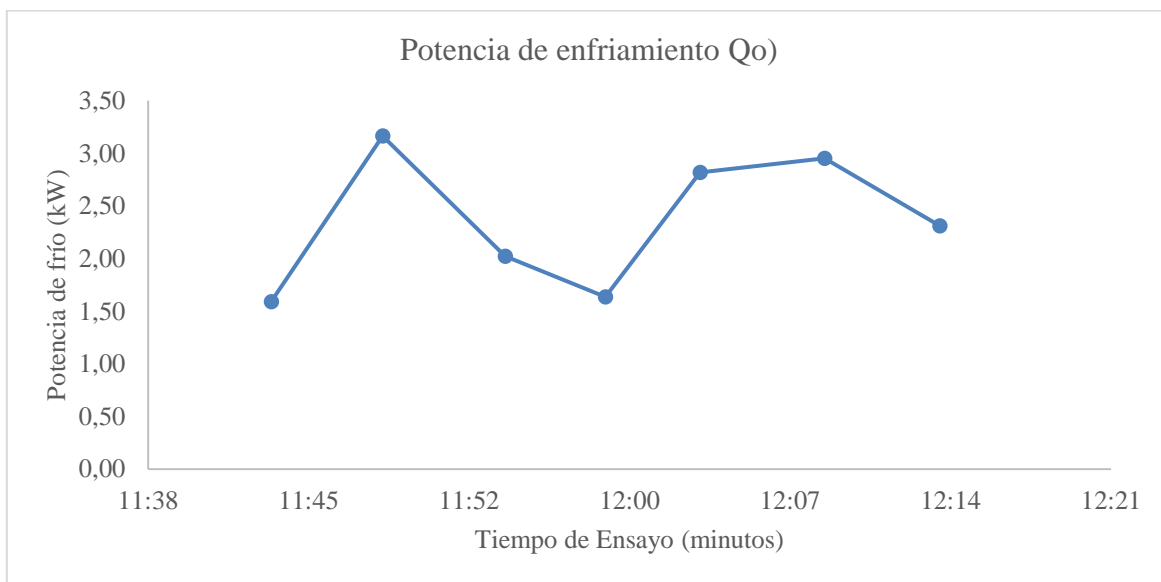
Valor que representa el promedio de la potencia demandada del equipo bajo prueba.

### 4.2 Fase 2. Desarrollo de las pruebas en el laboratorio de pruebas y ensayos para equipos de aire acondicionado.

Según lo establecido en la norma NTC 5380 (Acondicionadores de aire y bombas de calor sin conductos. Ensayo y determinación de características de desempeño) equivalente a la ISO 5151 en el numeral 4.1.4.2 Duración del ensayo “**El ensayo se debe realizar durante 30 min, registrando los datos cada 5 min, produciendo siete grupos de lecturas**”.

Al realizar la prueba durante 60 minutos, tomando los datos de los últimos 30 minutos y haciendo el registro cada 5 minutos con *siete grupos de lecturas* el comportamiento para la potencia de enfriamiento genera como resultado la gráfica mostrada en la Figura 11.

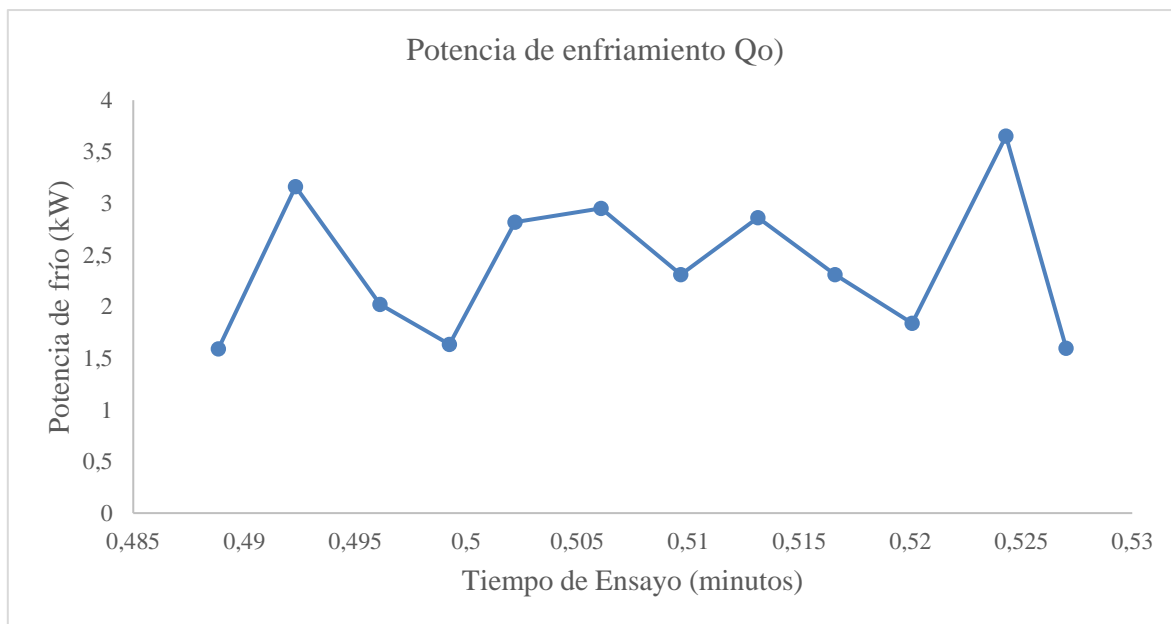
**Figura 11. Resultado potencia de enfriamiento según la ISO 5151.**



*Fuente: Elaboración propia.*

Si la prueba se realiza durante 120 minutos y se toman los últimos 60 minutos, haciendo el registro cada 5 minutos con **doce grupos de lecturas** el comportamiento para la potencia de enfriamiento genera como resultado la gráfica mostrada en la Figura 12.

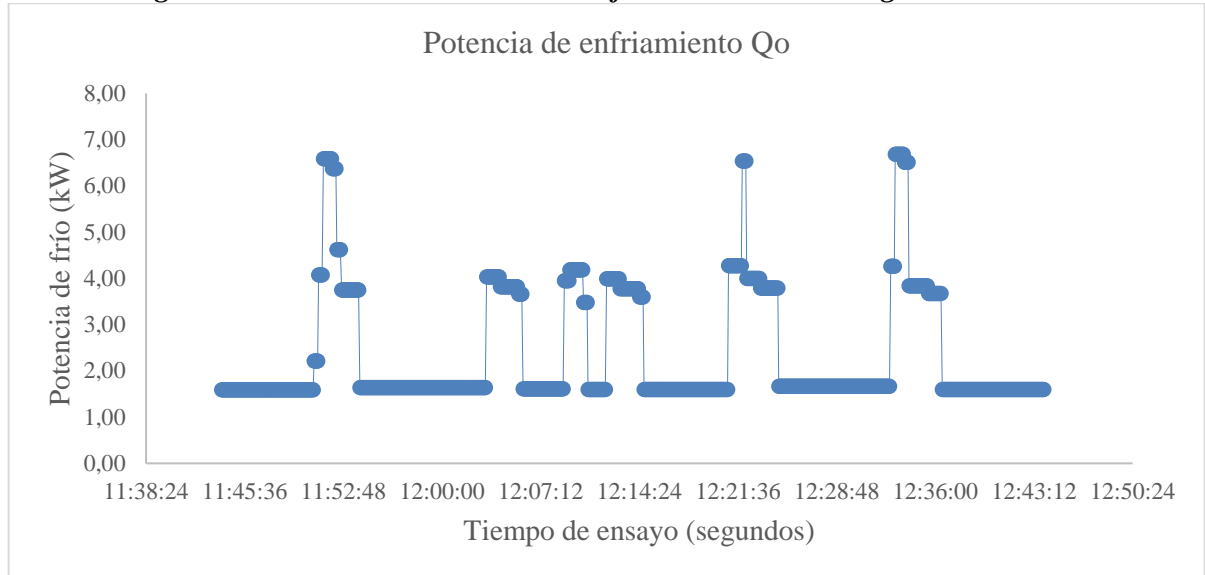
**Figura 12. Resultado potencia de enfriamiento doce grupos de lecturas.**



*Fuente: Elaboración propia.*

Al realizar la prueba durante 120 minutos, tomando los datos de los últimos 60 minutos y haciendo el registro cada 5 segundos produce **720 lecturas no agrupadas** el comportamiento para la potencia de enfriamiento genera como resultado la gráfica mostrada en la Figura 13.

**Figura 13. Resultado Potencia de Enfriamiento cada 5 segundos.**



**Fuente:** Elaboración propia.

El LPEA realiza el ensayo utilizando el resultado de la potencia de enfriamiento de la Figura 13, para darle a los datos un tratamiento significativo, el resultado se representa en la Tabla 13.

**Tabla 13. Resultado del Ensayo LPEA.**

POTENCIA DE ENFRIAMIENTO	
Qo_RMS	2485,16 W
Qo,Corr	2578,06 W 8796,33 BTU
POTENCIA DEMANDADA	
Wd	781,47 W
RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA	
EER	3,30 Wt/We 11,26 BTU/We

**Fuente:** Elaboración propia

La información entregada y requerida por el cliente es:

**Efecto de refrigeración total neto: 2578,06 W**

**Potencia de consumo unidad bajo ensayo: 781,47 We**


**Relación eficiencia energética (REE): 3,30 Wt/We**

**Consumo de energía: 103,15 kWh/mes**

#### 4.3 Fase 3. Aplicación y desarrollo de la confirmación.

Teniendo claro la Secuencia de Confirmación de la **Figura 5**, Método: **Cuantitativo, Normalizado**, se hará **Confirmación**, definidas las variables a estudiar y los parámetros se da inicio al plan (Tabla 14) y se continúa con las pruebas:

**Tabla 14. Plan de Confirmación Laboratorio LPEA.**

 <p>VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN</p> <p>PLAN DE VALIDACIÓN O CONFIRMACIÓN DEL MÉTODO</p>	Código	123-LPEA-FXX
	Versión	1
	Fecha	2016-07-28
	Página	63 de 154

### 1. ALCANCE DE LA VALIDACIÓN O CONFIRMACIÓN

#### 1.1 Nombre de la Prueba o Calibración

Determinación de la capacidad de enfriamiento, eficiencia energética y potencia de consumo de la unidad bajo ensayo.

#### 1.2 Tipo de Método

Normalizado	<b>x</b>	Norma:	NTC 5380:2005 (equivalente ISO 5151).
Normalizado modificado		Norma:	NTC 4295:2005.
No normalizado desarrollado por el laboratorio			
No normalizado aceptado y usado			

### 1.3 Requisitos del método:

Numeral 4.1 Método calorímetro Norma NTC 4295:2005.  
 Numeral 7.1 Cálculo de la capacidad de refrigeración método calorimétrico NTC 4295:2005.  
 Anexo B. Método de ensayo con calorímetro NTC 5380:2005.  
 Anexo C. C.1.1 Cálculo de la capacidad de refrigeración (método del calorímetro) NTC 5380:2005.

### 1.4 Validación o confirmación

<b>Validación:</b>	Retrospectiva		<b>Confirmación:</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;"><b>x</b></div>
	Prospectiva			

### 1.5 Procedimientos internos del laboratorio utilizados:

Instructivo para Instalación de Equipos.  
 Instructivo Evaluador de Registro.  
 Instructivo para Operar el DAQ.  
 Instructivo para Operación de Equipos de Aire Acondicionado.  
 Instructivo para Medir la Potencia.  
 Instructivo para Medir la Temperatura.  
 Instructivo para Medir Presión.  
 Instructivo para Medir el Flujo de Aire.  
 Instructivo para Calcular la Capacidad de Enfriamiento.  
 Instructivo para Calcular la Eficiencia Energética.  
 Instructivo Operación General LPEA para Realización de la Prueba.  
 Instructivo para Cálculo de Incertidumbre.

## 2. SELECCIÓN DE LAS PRUEBAS O CALIBRACIONES

### 2.1 Pruebas o Calibraciones

Pruebas o calibraciones realizadas únicamente para la validación y confirmación	
Pruebas o calibraciones realizadas a usuarios - utilizadas para la validación y confirmación	<b>x</b>

### 2.2 Descripción de las Pruebas o Calibraciones

Las pruebas se realizaron durante los meses de agosto y septiembre del año 2016. Estos equipos son de consumo masivo hallados en el mercado.

Se realizaron pruebas a equipos de 4 marcas específicas, con datos declarados del fabricante:

Marca 1  
 Marca 2  
 Marca 3  
 Marca 4

Cada una de las marcas participó con 3 equipos; en total se realizaron 12 pruebas para la confirmación del método.



### 2.3 Equipos / Materiales de referencia utilizados

Nombre del equipo	Marca/ Modelo	No serie	Código	Resolución	Última calibración Año-Mes-Día
DIGITAL POWER MEASUREMENT SYSTEM	ROCHESTER	6160001	314556 UT	-	2015-06-09
DIGITAL POWER MEASUREMENT SYSTEM	ROCHESTER	6160002	314556 AT	-	2015-06-09
DIGITAL POWER MEASUREMENT SYSTEM	ROCHESTER	6160003	314556 CE	-	2015-06-09
DIGITAL POWER MEASUREMENT SYSTEM	ROCHESTER	6160004	314556 MPX	-	2015-06-09
DIGITAL POWER MEASUREMENT SYSTEM	ROCHESTER	6160005	314556 CI	-	2015-06-09
TERMOHIGRÓMETRO DIGITAL	LUTRON	Q583793	-	-	2015-07-06
SISTEMA DE ADQUISICIÓN PARA LABORATORIO DE PRUEBAS DE AIRE ACONDICIONADO	C4	-	314555	-	-
SISTEMA DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO PARA LABORATORIO DE PRUEBAS	STULZ	-	314556	-	-
EQUIPO DE COMPUTO	DELL	-	312031	-	-
UPS	ETN	GD245A1231	316514	-	-

Materiales de referencia utilizados	
Nombre	Especificaciones

### 3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Parámetros de validación o confirmación a evaluar		Número de pruebas o calibraciones a realizar	Responsable	Fecha Año-Mes-Día
Diseño Factorial $3^k$		27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
Otros				

### 3. 1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Parámetros de validación o confirmación a evaluar		Número de pruebas o calibraciones a realizar	Responsable	Fecha Año-Mes-Día
<b>Selectividad</b> Interferencia de matriz				
<b>Linealidad</b> Rango lineal	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Sensibilidad</b> Pendiente	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Límites</b> Límite inferior Límite superior Crítico (LC) Detección (LOD) Cuantificación (LOQ)	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Precisión</b> Repetibilidad Reproducibilidad	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Robustez</b> Test de Youden y Steiner Levene	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Veracidad</b> Sesgo	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Aplicabilidad</b>	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Incertidumbre</b>	x	27	Director Técnico	2016-08-12 2016-08-26 2016-09-09 2016-09-23
<b>Otros</b>				

#### 4. APROBACIÓN Y MODIFICACIONES AL PLAN

Plan de validación o confirmación elaborado por		Firma	Fecha de elaboración Año-Mes-Día
<b>Nombre:</b>	Profesional del Laboratorio		2016-08-05
<b>Cargo:</b>	Director Técnico		

Plan de validación o confirmación aprobado por		Firma	Fecha de elaboración Año-Mes-Día
<b>Nombre:</b>	Director del Laboratorio		2016-08-05
<b>Cargo:</b>	Director Técnico		

##### 4.1 Modificaciones

Modificaciones al Plan Comentarios, observaciones	Firma	Fecha Año-Mes-Día

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 4.3.1 Pruebas realizadas equipos marca 1.

Para los equipos de la marca 1 los resultados por equipos se dan en las Tablas 15, 16 y 17.

Datos declarados por el fabricante:

Capacidad de enfriamiento (nominal): 2579,13 W

Potencia demandada (nominal): 860,00 W

Relación de eficiencia energética (REE): 3,00 Wt/We

**Tabla 15. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 1.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<b>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</b>  <b>Qo_RMS</b> 2487,88   W  <b>Qo,Corr</b> 2580,88   W 8805,96   BTU		Efecto de refrigeración total neto.	2580,88 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	1092,47 We
		Relación eficiencia energética (REE):	2,36 Wt/We
		Consumo de energía:	133,21 kWh/mes
<b>POTENCIA DEMANDADA</b>  <b>Wd</b> 1092,47   W			
<b>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>  <b>EER</b> 2,36   Wt/We 8,06   BTU/We			

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 16. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 1.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<b>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</b>		Efecto de refrigeración total neto.	3091,44 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	917,11 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,37 Wt/We
		Consumo de energía:	121,05 kWh/mes
<b>Qo_RMS</b>	2980,04 W		
<b>Qo,Corr</b>	3091,44 W 10547,99 BTU		
<b>POTENCIA DEMANDADA</b>			
<b>Wd</b>	917,11 W		
<b>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>			
<b>EER</b>	3,37 Wt/We 11,50 BTU/We		

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 17. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 1.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<div>FPOTENCIA DE ENFRIAMIENTO</div> <div><div>Qo_RMS</div><div>3093,09 W</div></div> <div><div>Qo,Corr</div><div>3208,71 W</div><div>10948,12 BTU</div></div> <div>POTENCIA DEMANDADA</div> <div><div>Wd</div><div>828,06 W</div></div> <div>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</div>		Efecto de refrigeración total neto.	3208,71 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	828,06 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,87 Wt/We
		Consumo de energía:	109,30 kWh/mes

<b>EER</b>	3,87 Wt/We		
	13,22 BTU/We		

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Pruebas realizadas equipos marca 2.

Para los equipos de la marca 2 los resultados por equipos se dan en las Tablas 18, 19 y 20.

Datos declarados por el fabricante:

Capacidad de enfriamiento (nominal): 2344,67 W

Potencia demandada (nominal): 740 W

Relación de eficiencia energética (REE): 3,17 Wt/We

**Tabla 18. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 2.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<div>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</div> <div><div>Qo_RMS</div><div>2580,60 W</div></div> <div><div>Qo,Corr</div><div>2677,06 W</div><div>9134,14 BTU</div></div> <div>POTENCIA DEMANDADA</div> <div><div>Wd</div><div>743,83 W</div></div> <div>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</div> <div><div>EER</div><div>3,60 Wt/We</div><div>12,28 BTU/We</div></div>		Efecto de refrigeración total neto.	2677,06 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	743,83 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,60 Wt/We
		Consumo de energía:	98,18 kWh/mes

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 2.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<div>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</div> <div>Qo_RMS    2424,14   W</div> <div>Qo,Corr    2514,76   W 8580,34   BTU</div> <div>POTENCIA DEMANDADA</div> <div>Wd    781,47   W</div> <div>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</div> <div>EER    3,22   Wt/We 10,98   BTU/We</div>		Efecto de refrigeración total neto.	2514,76 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	781,47 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,22 Wt/We
		Consumo de energía:	103,15 kWh/mes

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 20. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 2.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<div>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</div>		Efecto de refrigeración total neto.	2502,14 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	766,21 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,27 Wt/We
		Consumo de energía:	101,14 kWh/mes

Qo_RMS	2411,98 W
Qo,Corr	2502,14 W
	8537,29 BTU
POTENCIA DEMANDADA	
Wd	766,21 W
RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA	
EER	3,27 Wt/We
	11,14 BTU/We

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.3.3 Pruebas realizadas equipos marca 3.

Para los equipos de la marca 3 los resultados por equipos se dan en las Tablas 21, 22 y 23.

Datos declarados por el fabricante:

Capacidad de enfriamiento (nominal): 10551,00 W

Potencia demandada (nominal): 3000 W

Relación de eficiencia energética (REE): 3,52 Wt/We

**Tabla 21. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 3.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<div>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</div>	Efecto de refrigeración total neto.	10143,31 W	
	Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	3083,88 We	
	Relación eficiencia energética (REE):	3,29 Wt/We	
	Consumo de energía:	407,07 kWh/mes	



Qo_RMS	9777,82 W
Qo,Corr	10143,31 W
	34608,98 BTU
POTENCIA DEMANDADA	
Wd	3083,88 W
RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA	
EER	3,29 Wt/We
	11,22 BTU/We

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 22. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 3.**

Resultados del ensayo LPEA		Información																	
<table><tr><td colspan="2">POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</td></tr><tr><td>Qo_RMS</td><td>9467,09 W</td></tr><tr><td rowspan="2">Qo,Corr</td><td>9820,97 W</td></tr><tr><td>35509,15 BTU</td></tr><tr><td colspan="2">POTENCIA DEMANDADA</td></tr><tr><td>Wd</td><td>3063,64 Wd</td></tr><tr><td colspan="2">RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</td></tr><tr><td rowspan="2">EER</td><td>3,21 Wt/We</td></tr><tr><td>10,94 BTU/We</td></tr></table>		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO		Qo_RMS	9467,09 W	Qo,Corr	9820,97 W	35509,15 BTU	POTENCIA DEMANDADA		Wd	3063,64 Wd	RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA		EER	3,21 Wt/We	10,94 BTU/We	Efecto de refrigeración total neto.	9820,97 W
		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO																	
		Qo_RMS	9467,09 W																
		Qo,Corr	9820,97 W																
			35509,15 BTU																
		POTENCIA DEMANDADA																	
		Wd	3063,64 Wd																
		RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA																	
		EER	3,21 Wt/We																
10,94 BTU/We																			
Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	3063,64 We																		
Relación eficiencia energética (REE):	3,21 Wt/We																		
Consumo de energía:	404,40 kWh/mes																		

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 23. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 3.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<b>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</b>  <b>Qo_RMS</b> 9293,88    W <b>Qo,Corr</b> 9641,28    W 32896,05    BTU  <b>POTENCIA DEMANDADA</b>  <b>Wd</b> 3040,27    W  <b>RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>  <b>EER</b> 3,17    Wt/We 10,82    BTU/We		Efecto de refrigeración total neto.	9641,28 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	3040,27 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,17 Wt/We
		Consumo de energía:	405,31 kWh/mes

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.3.4 Pruebas realizadas equipos marca 4.

Para los equipos de la marca 3 los resultados por equipos se dan en las Tablas 24, 25 y 26.

Datos declarados por el fabricante:

Capacidad de enfriamiento (nominal): 4982,42 W

Potencia demandada (nominal): 1460 W

Relación de eficiencia energética (REE): 3,41 Wt/We

**Tabla 24. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 1 Marca 4.**

Resultados del ensayo LPEA		Información															
<table><tr><td colspan="2">POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</td></tr><tr><td>Qo_RMS</td><td>4216,45 W</td></tr><tr><td>Qo,Corr</td><td>4374,06 W 14924,31 BTU</td></tr><tr><td colspan="2">POTENCIA DEMANDADA</td></tr><tr><td>Wd</td><td>1349,77 W</td></tr><tr><td colspan="2">RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</td></tr><tr><td>EER</td><td>3,24 Wt/We 11,06 BTU/We</td></tr></table>		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO		Qo_RMS	4216,45 W	Qo,Corr	4374,06 W 14924,31 BTU	POTENCIA DEMANDADA		Wd	1349,77 W	RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA		EER	3,24 Wt/We 11,06 BTU/We	Efecto de refrigeración total neto.	4374,06 W
		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO															
		Qo_RMS	4216,45 W														
		Qo,Corr	4374,06 W 14924,31 BTU														
		POTENCIA DEMANDADA															
		Wd	1349,77 W														
		RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA															
EER	3,24 Wt/We 11,06 BTU/We																
Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	1349,77 We																
Relación eficiencia energética (REE):	3,24 Wt/We																
Consumo de energía:	178,17 kWh/mes																

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 25. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 2 Marca 4.**

Resultados del ensayo LPEA		Información	
<b>POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</b>		Efecto de refrigeración total neto.	4650,02 W
		Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	1359,56 We
		Relación eficiencia energética (REE):	3,42 Wt/We
		Consumo de energía:	179,46 kWh/mes

Qo_RMS	4482,46 W
Qo,Corr	4650,02 W
	15865,86 BTU
POTENCIA DEMANDADA	
Wd	1359,56 W
RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA	
EER	3,42 Wt/We
	11,67 BTU/We

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 26. Resultado del Ensayo LPEA Equipo 3 Marca 4.**

Resultados del ensayo LPEA		Información																	
<table><tr><td colspan="2">POTENCIA DE ENFRIAMIENTO</td></tr><tr><td>Qo_RMS</td><td>4451,26 W</td></tr><tr><td rowspan="2">Qo,Corr</td><td>4617,65 W</td></tr><tr><td>15755,43 BTU</td></tr><tr><td colspan="2">POTENCIA DEMANDADA</td></tr><tr><td>Wd</td><td>1347,08 W</td></tr><tr><td colspan="2">RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA</td></tr><tr><td rowspan="2">EER</td><td>3,43 Wt/We</td></tr><tr><td>11,70 BTU/We</td></tr></table>		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO		Qo_RMS	4451,26 W	Qo,Corr	4617,65 W	15755,43 BTU	POTENCIA DEMANDADA		Wd	1347,08 W	RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA		EER	3,43 Wt/We	11,70 BTU/We	Efecto de refrigeración total neto.	4617,65 W
		POTENCIA DE ENFRIAMIENTO																	
		Qo_RMS	4451,26 W																
		Qo,Corr	4617,65 W																
			15755,43 BTU																
		POTENCIA DEMANDADA																	
		Wd	1347,08 W																
		RELACIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA																	
		EER	3,43 Wt/We																
			11,70 BTU/We																
Potencia de consumo unidad bajo ensayo:	1347,08 We																		
Relación eficiencia energética (REE):	3,43 Wt/We																		
Consumo de energía:	177,81 kWh/mes																		

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4 FASE 4. Resultados de la confirmación.

##### 4.4.1 Diseño factorial $3^k$ .

Para el desarrollo de la investigación se utiliza el diseño de experimentos, específicamente el diseño factorial  $3^k$ , que significa “K” factores con tres (3) niveles cada uno; al definir la cantidad de niveles se determina el factorial para cada una de las pruebas, el factorial es el número de combinaciones de factores o parámetros y sus respectivos niveles de variación, como se presenta en la Tabla 27.

**Tabla 27. Factores, niveles y valores de niveles.**

Factor	Niveles
	Diseño $3^k$
Tiempo de ensayo	1
Dato del fabricante de potencia	1
Funcionario	1
Equipo	3
Marca	3
Potencia demandada	3

*Fuente: Elaboración propia.*

Se tiene tres (3) parámetros con un nivel de variación que corresponde a condiciones de operación, y tres (3) parámetros con tres (3) niveles de variación, de acuerdo con el diseño de experimentos propuesto da como resultado:

$$\text{Factorial } 3^k = \prod \text{Nivel}^{\text{Factores}} = 1^3 * 3^3 = 27$$

Así, es necesario 27 datos para el diseño factorial  $3^k$  por medio del cual el efecto de varios factores o parámetros son estudiados sobre una variable de respuesta, dónde se consideran todas las posibles combinaciones por los distintos niveles de dichos factores, considerados en la Tabla 23.

Se realiza las pruebas a los equipos de aire acondicionado en el LPEA como se muestran en la Figura 14.

**Figura 14. Fotografías ensayos en el LPEA.**



*Fuente: Elaboración propia.*

De esta manera se obtienen los datos de acuerdo con el diseño de experimentos y las variables con los niveles definidos, consignados en la Tabla 28.

**Tabla 28. Datos obtenidos en las pruebas a equipos acondicionadores de aire.**

Orden	Marca	Equipo	Dato fabricante de la potencia (kW)	Potencia demandada (kW)	Potencia de enfriamiento (kW)
1	1	1	2,57913	1,09247	2,58088
2	1	2	2,57913	0,91711	3,09144
3	1	3	2,57913	0,82806	3,20871
4	2	1	2,34467	0,74383	2,67706
5	2	2	2,34467	0,78147	2,51476
6	2	3	2,34467	0,76621	2,50214
7	3	1	10,55100	3,08388	10,14331
8	3	2	10,55100	3,06364	9,82097
9	3	3	10,55100	3,04027	9,64128
10	1	1	2,57913	1,09247	2,65366
11	1	2	2,57913	0,91711	2,75237
12	1	3	2,57913	0,82806	2,85163
13	2	1	2,34467	0,74383	2,37126
14	2	2	2,34467	0,78147	2,49588
15	2	3	2,34467	0,76621	2,49382
16	3	1	10,55100	3,08388	10,73414
17	3	2	10,55100	3,06364	10,62810

Orden	Marca	Equipo	Dato fabricante de la potencia (kW)	Potencia demandada (kW)	Potencia de enfriamiento (kW)
18	3	3	10,55100	3,04027	10,64094
19	1	1	2,57913	1,09247	2,61727
20	1	2	2,57913	0,91711	2,92190
21	1	3	2,57913	0,82806	3,03017
22	2	1	2,34467	0,74383	2,52416
23	2	2	2,34467	0,78147	2,50532
24	2	3	2,34467	0,76621	2,49798
25	3	1	10,55100	3,08388	10,43873
26	3	2	10,55100	3,06364	10,22454
27	3	3	10,55100	3,04027	10,14111

*Fuente: Ensayos realizados en el Laboratorio de Pruebas para Equipos Acondicionadores de Aire (LPEA).*

#### 4.4.2 Análisis de datos.

La herramienta estadística utilizada es el análisis de varianza, regresión múltiple y los modelos lineales; el programa utilizado es el software minitab versión 17 para obtener los resultados de análisis estadístico e identificar la relación entre los factores estudiados mediante análisis de regresión y obtener un modelo matemático para validar el comportamiento de los datos y predecir resultados.

Estos son los resultados al aplicar el diseño factorial  $3^k$ :

## Regresión factorial general: Potencia de enfriamiento vs. Marca; Equipo; Potencia demandada

No se pueden estimar los siguientes términos y se eliminaron:

Potencia demandada; Marca\*Potencia demandada; Equipo\*Potencia demandada;  
Marca\*Equipo\*Potencia demandada

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Marca	3	1; 2; 3
Equipo	3	1; 2; 3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	346,183	43,273	665,29	0,000
Lineal	4	345,770	86,443	1328,99	0,000
Marca	2	345,766	172,883	2657,95	0,000
Equipo	2	0,004	0,002	0,03	0,966
Interacciones de 2 términos	4	0,413	0,103	1,59	0,221
Marca*Equipo	4	0,413	0,103	1,59	0,221
Error	18	1,171	0,065		
Total	26	347,354			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,255036	99,66%	99,51%	99,24%

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,255036	99,66%	99,51%	99,24%

### Coefficientes

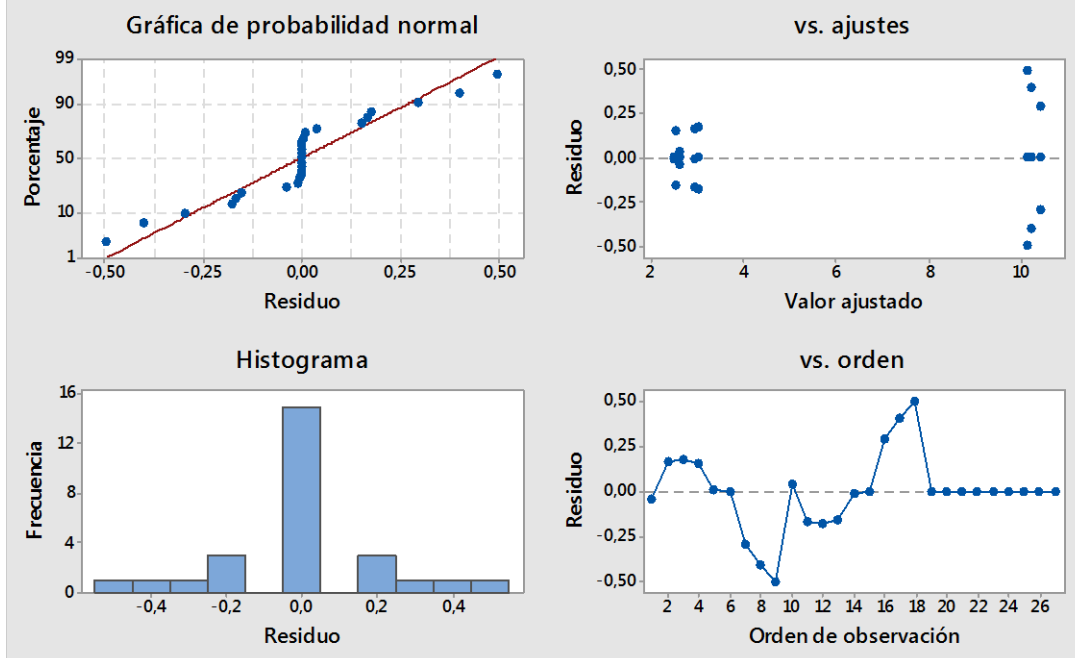
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	5,2112	0,0491	106,17	0,000	
Marca					
1	-2,3548	0,0694	-33,92	0,000	1,33
2	-2,7021	0,0694	-38,93	0,000	1,33
Equipo					
1	-0,0179	0,0694	-0,26	0,800	1,33
2	0,0060	0,0694	0,09	0,932	1,33
Marca*Equipo					
1 1	-0,2213	0,0982	-2,25	0,037	1,78
1 2	0,0594	0,0982	0,61	0,552	1,78
2 1	0,0329	0,0982	0,33	0,742	1,78
2 2	-0,0098	0,0982	-0,10	0,921	1,78

### Ecuación de regresión

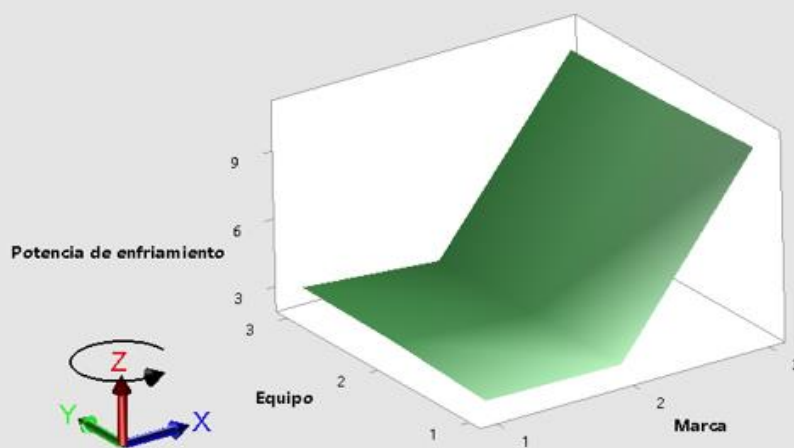
Potencia de enfriamiento = 5,2112 - 2,3548 Marca\_1 - 2,7021 Marca\_2 + 5,0569 Marca\_3  
 - 0,0179 Equipo\_1 + 0,0060 Equipo\_2 + 0,0118 Equipo\_3  
 - 0,2213 Marca\*Equipo\_1 1 + 0,0594 Marca\*Equipo\_1 2  
 + 0,1619 Marca\*Equipo\_1 3 + 0,0329 Marca\*Equipo\_2 1

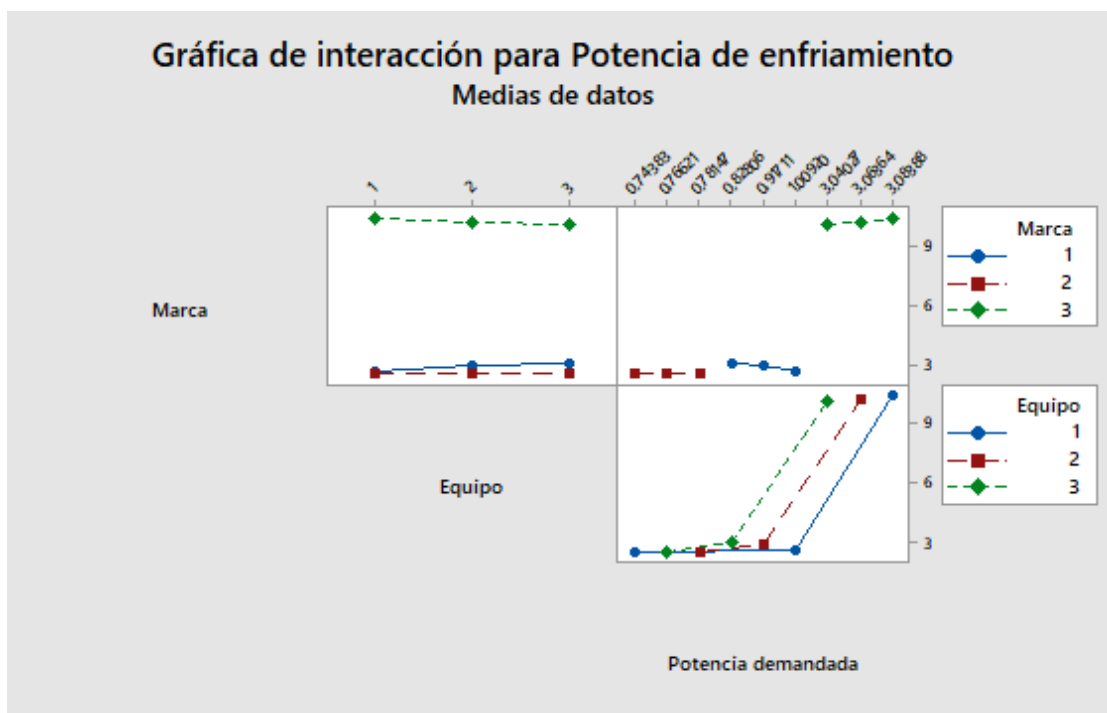
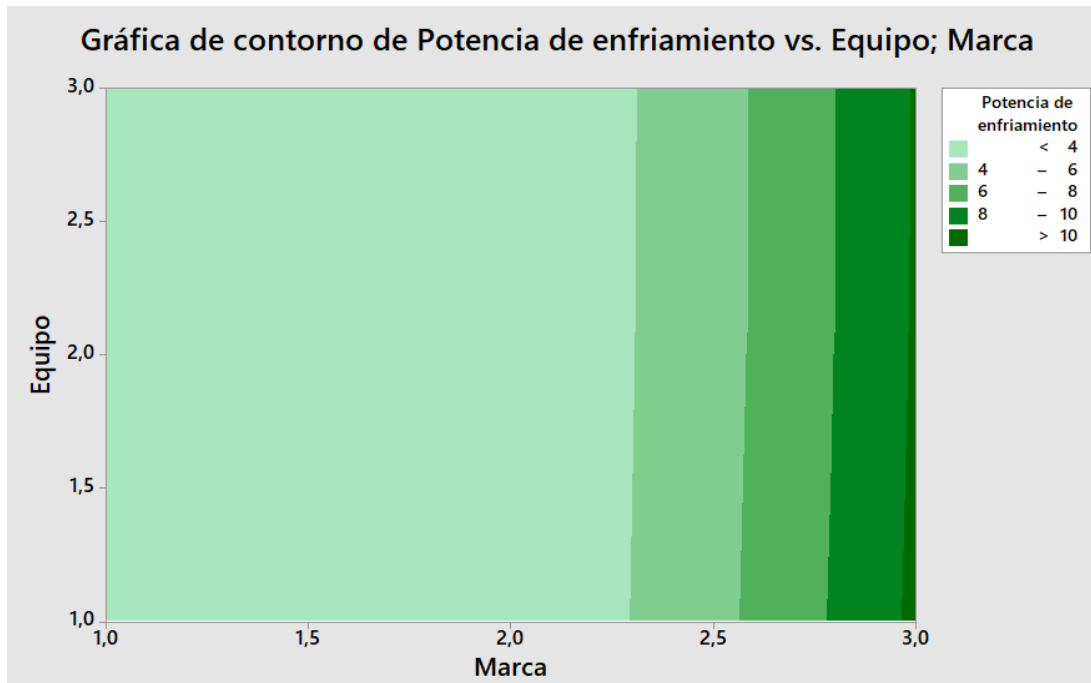


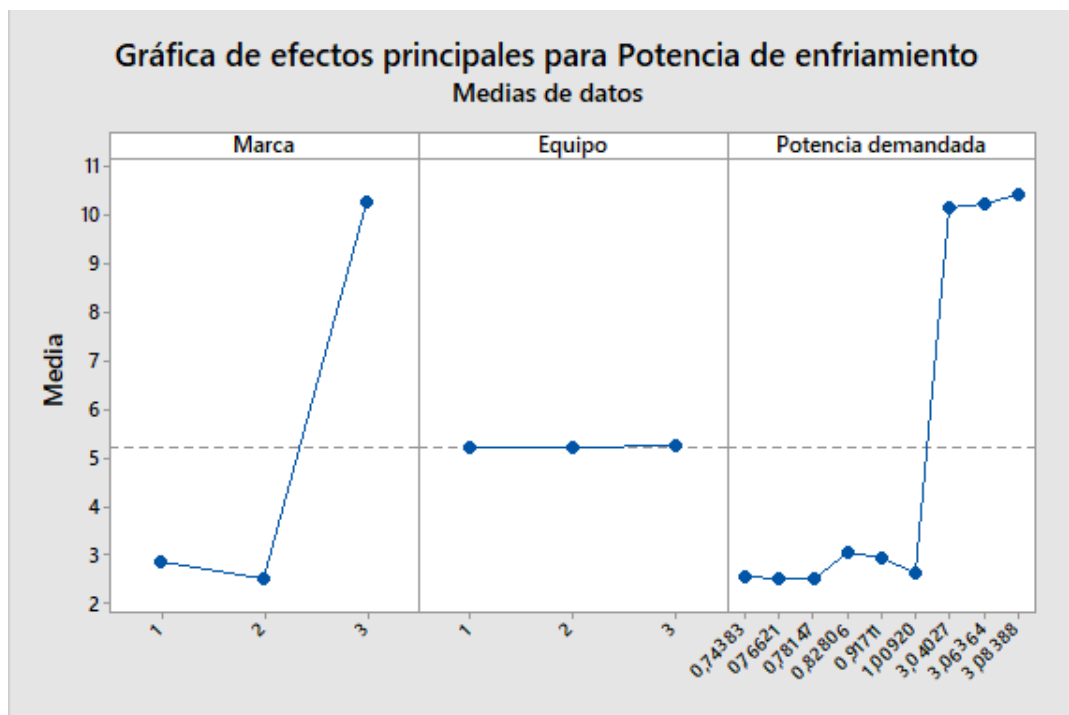
### Gráficas de residuos para Potencia de enfriamiento



### Gráfica de superficie de Potencia de enfriamiento vs. Equipo; Marca







#### 4.4.3 Parámetros tradicionales para realizar la confirmación.

La forma tradicional de realizar la confirmación y validación de métodos, se desarrolla cada uno de estos parámetros, la idea es demostrar la aplicación que se puede desarrollar con el software minitab 17 como valor agregado en esta investigación y con el resultado de que para la potencia el factor significativo es la marca.

En la Tabla 29 se establecen los parámetros para la validación o confirmación también llamados criterios de desempeño de métodos así:

**Tabla 29. Parámetros para la Validación o Confirmación.**

Parámetro a evaluar	Características	Método Cualitativo	Método Cuantitativo		
			Normalizado	Modificado	Nuevo
<b>SELECTIVIDAD</b>	Identificación analito interferencia de matriz	SI	NO	SI	SI
<b>LINEALIDAD</b>	Rango lineal	NO	SI	SI	SI
<b>SENSIBILIDAD</b>	Pendiente Regresión ortogonal	NO	SI o NO	SI	SI
<b>LÍMITES</b>	Intervalo de confianza Cartas de control	SI	SI o NO	SI	SI

<b>PRECISIÓN</b>	Repetibilidad Reproducibilidad	NO	SI	SI	SI
<b>VERACIDAD</b>	Sesgo (s)	NO	SI o NO	SI o NO	SI
<b>ROBUSTEZ</b>	Test de Youden y Steiner. Levene. Tolerancia.	NO	NO	SI o NO	SI
<b>APLICABILIDAD</b>	Cumplimiento de los requisitos del método	SI	SI	SI	SI
<b>INCERTIDUMBRE</b>	Incertidumbre expandida	SI	SI	SI	SI

*Fuente. Instituto de Salud Pública. (2010). Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”.*

#### **4.4.3.1 Selectividad.**

Selectividad (especificidad). Se define como la capacidad de un método analítico para medir exacta y específicamente el analito sin interferencias de impurezas, productos de degradación o excipientes que pueden estar presentes en la muestra. La evaluación de este parámetro es especialmente importante en el caso de los métodos analíticos diseñados para la cuantificación del analito en formulaciones y en estudios de estabilidad.

Para esta confirmación este parámetro no aplica.

#### **4.4.3.2 Linealidad.**

El comportamiento lineal de un método, debe ser demostrado dentro del intervalo en el cual es probable que se trabaje. Este intervalo varía dependiendo del tipo de determinación a realizar.

Según la (EURACHEM/CITAC. QUAM: 2000.P1); “La linealidad es una propiedad importante de los métodos utilizados para efectuar mediciones en un intervalo de concentraciones. La linealidad de la respuesta a patrones puros (MRC) y a muestras realistas puede determinarse. La linealidad generalmente no es cuantificada pero es comprobada mediante inspección o utilizando pruebas de significancia de la no-linealidad. La no-linealidad significativa es usualmente corregida mediante el uso de funciones de calibración no-lineal o eliminada seleccionando un intervalo de operación más restringido. Cualquier desviación residual de la linealidad normalmente es contabilizada por el estimado de la precisión global cubriendo varias concentraciones, o dentro de cualquier incertidumbre asociada a la calibración”.

Según (AIAG. MSA 3e); “La Linealidad es la diferencia en los errores de sesgo (“bias”) sobre el intervalo de operación (medición) esperado del sistema de medición. En otros términos, la linealidad expresa la correlación de errores de sesgo (sistemáticos) múltiples e independientes sobre el intervalo de operación”.

En el contexto de la instrumentación y control industrial ISA (Instrument Society of América) define diferente tipo de linealidad, como se indican a continuación:

➤ **Linealidad independiente.**

La desviación máxima de la curva de calibración (promedio de las lecturas en ascenso y descenso de la escala) a una línea recta posicionada para minimizar la desviación máxima (ISA-51.1).

Linealidad referida a la mejor línea recta (ISA-37.1).

➤ **Mejor línea recta.**

Línea intermedia entre las dos líneas rectas paralelas más cercanas que juntas y encerrando toda la salida contra los valores medidos en una curva de calibración (ISA-37.1)

➤ **Linealidad de mínimos cuadrados.**

Linealidad referida a la línea de mínimos cuadrados (ISA-37.1)

➤ **Línea de mínimos cuadrados.**

Línea recta para la cual la suma de los cuadrados de los residuales (desviaciones) está minimizada (ISA-37.1).

➤ **Linealidad basada en los extremos o límites (“terminal”).**

Linealidad referida a la línea de extremos (ISA-37.1)

➤ **Linealidad basada en los extremos o límites (“terminal”).**

La desviación máxima de la curva de calibración (promedio de las lecturas en ascenso y descenso de la escala) a una línea recta que coincide con la curva de calibración en los valores inferiores y superiores del intervalo (ISA-51.1)

➤ **Linealidad de punto final (“end-point”).**

Linealidad referida a la línea de punto final (ISA-37.1)

➤ **Línea de puntos finales.**

Línea recta entre los puntos finales (ISA-37.1)

➤ **Linealidad basada en (cruce por) cero.**

La desviación máxima de la curva de calibración (promedio de las lecturas en ascenso y descenso de la escala) a una línea recta posicionada para coincidir con la curva de calibración en el valor inferior de intervalo y para minimizar la desviación máxima (ISA-51.1).

➤ **Linealidad de pendiente teórica.**

Linealidad referida a la pendiente teórica (ISA-37.1)

➤ **Linealización.**

El proceso de convertir una respuesta no-lineal (no-línea recta) en una respuesta lineal (ISA-37.1).

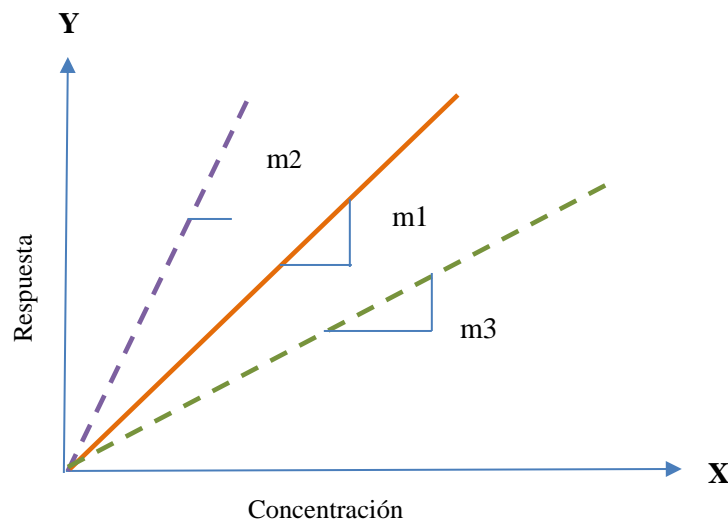
La linealidad del sistema de medición indica cuán exactas son las mediciones a través del rango esperado de las mediciones. Responde al interrogante, “¿Tiene el sistema de medición la misma exactitud para los tamaños de los objetos que se miden?”.

**4.4.3.3 Sensibilidad.**

La sensibilidad es el cociente entre el cambio en la indicación de un sistema de medición y el cambio correspondiente en el valor de la cantidad objeto de la medición. En una regresión lineal la sensibilidad corresponde a la pendiente (m) de la recta Figura 15.

$$m = \frac{\sum xy - (\sum x) \left( \frac{\sum y}{n} \right)}{\sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

**Figura 15. Respuesta a la Concentración.**



**Fuente.** Instituto de Salud Pública. (2010). *Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”*.

El valor de sensibilidad obtenido [m] debe permitir una adecuada discriminación de los valores de concentración en base a la lectura, mientras más próxima al eje de las Y este la recta, significa que a ligeros cambios en las concentraciones esperadas habrá grandes variaciones en los resultados de las lecturas observadas [m2] .En el caso de [m3] grandes cambios en la concentración no son significativos para la lectura.

Para hallar la Sensibilidad del sistema medición en esta confirmación se utiliza la regresión ortogonal (regresión Deming) para probar si los equipos de una marca determinada proveen mediciones comparables. El intervalo de confianza para la pendiente debe contener 1 y el intervalo de confianza de la intersección debe contener 0.

Las hipótesis para la pendiente son:  $H_0: \beta_1 = 0$  versus  $H_1: \beta_1 \neq 0$

Las hipótesis para la intersección son:  $H_0: \beta_0 = 0$  versus  $H_1: \beta_0 \neq 0$

Se realiza comparaciones para los diferentes equipos que pertenecen a la misma marca.

#### 4.4.3.4 Límites.

En este caso el interés es encontrar el **intervalo de confianza** de la media (parámetro  $\mu$ ) a la que se calcula la potencia de enfriamiento de los equipos acondicionadores de aire, que contendría el verdadero valor del parámetro cierto porcentaje de veces (confianza del intervalo). La confianza del intervalo se representa como del  $(1-\alpha)$  %, es decir,  $\alpha$  representa la proporción de muestras para las que el intervalo que se calcula no contendrá el verdadero valor del parámetro.

Cómo no se conoce la desviación típica de la población se aproxima por:  $\frac{\bar{x}-\mu}{s/\sqrt{n}}$ , Que sigue un distribución  $t$  con  $n-1$  grados de libertad,  $t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$ , y cumple  $(1-\frac{\alpha}{2})$ , generando la siguiente desigualdad  $-t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} \leq \frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \leq t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})}$  que finalmente da como resultado:

$\bar{x} - t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} * \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} * \frac{s}{\sqrt{n}}$  y por lo tanto, el intervalo en el que  $\mu$  estará contenido con un  $100*(1-\alpha)$  de confianza es:

$\left[ \bar{x} - t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} * \frac{s}{\sqrt{n}} , \bar{x} + t_{(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})} * \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$ , se determina con un 95% de confianza, la media de la potencia de enfriamiento de un lote de equipos acondicionadores de aire de una determinada marca.

#### 4.4.3.5 Precisión.

La precisión podrá establecerse en términos de repetibilidad y reproducibilidad.

**Repetibilidad:** Este concepto se explica por el Centro Español de Metrología CEM de la siguiente manera: Grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones del mismo mensurando, aplicando la totalidad de las mismas condiciones de medida. Las condiciones de

repetibilidad comprenden el mismo procedimiento de medida, el mismo observador, el mismo instrumento de medida utilizado en las mismas condiciones, el mismo lugar y repetición durante un corto período de tiempo. (Centro Español de Metrología, s.f, p.2)

Es la precisión bajo condiciones en donde los resultados de análisis independientes se obtienen con el mismo método en ítems de análisis idénticos en el mismo laboratorio por el mismo operador utilizando el mismo equipamiento dentro de intervalos cortos de tiempo.

Se puede determinar registrando mediciones bajo las mismas condiciones (mismo operador, mismo aparato, mismo laboratorio y en corto intervalo de tiempo).

**Reproducibilidad:** Este concepto se explica por el Centro Español de Metrología CEM de la siguiente manera: El grado de concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, aplicando diferentes condiciones de medida. Las condiciones variables pueden comprender principio de medida, método de medida, observador, instrumento de medida, patrón de referencia, lugar, condiciones de utilización y tiempo. (Centro Español de Metrología, s.f, p.2)

Es la precisión bajo las condiciones donde los resultados de los análisis se obtienen con el mismo método en ítem idénticos de análisis en condiciones diferentes ya sea de laboratorio, diferentes operadores, usando distintos equipos, entre otros.

Para determinar la precisión de la reproducibilidad intralaboratorio (es decir, la precisión dentro de un laboratorio), se sugiere realizar 3 mediciones de un material control (material de referencia) o equipo una vez por cada semana; otra manera es utilizando el comportamiento de la curva de calibración en 3 días distintos.

También, se puede determinar registrando 10 mediciones en días distintos, o en un mismo día cambiando a lo menos una condición (ejemplo: operador, aparato, reactivos y largo intervalo de tiempo).

Para este estudio se utiliza el Sistema de Medición R&R Anidado. Este concepto se explica en el manual de referencia MSA-4:2010 de la siguiente manera:

Este enfoque ve a cada parte como un material por separado, (...). Esto producirá valores múltiples y por separado de repetibilidad y reproducibilidad. Dado que las partes son consideradas como esencialmente idénticas, se asume que estos estimativos por separado son efectivamente idénticos. Por supuesto nunca serán exactamente los mismos, pero su promedio ofrecerá un buen estimativo del nivel verdadero de repetibilidad y reproducibilidad similar. (Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185).

#### **4.4.3.6 Veracidad.**

La Veracidad se determina hallando el sesgo del sistema de medición, que examina la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal o de referencia. Responde al interrogante, “¿Cuán sesgado es el sistema de medición en comparación con el valor principal?”. La veracidad puede ser determinada por sesgo o recuperación.



**Sesgo (s):** La diferencia entre la expectativa relativa a los resultados de un ensayo o una medición y el valor verdadero. En la práctica el valor convencional de cantidad puede sustituir el valor verdadero. El sesgo es el error sistemático total en contraposición al error aleatorio.

Una diferencia sistemática importante en relación al valor de referencia aceptado se refleja en un mayor valor del sesgo, cuanto más pequeño es el sesgo, mayor veracidad indica el método.

#### **4.4.3.7 Robustez.**

Se utiliza al hacer cambios en el método, e investigar el efecto en el desempeño; controlando las variables en el método que tienen el efecto más significativo, garantizando que al utilizar el método están controladas.

En este estudio se analiza la Robustez del sistema de medición por medio de la homogeneidad de varianzas, utilizando el método de Levene, considera las separaciones de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra. El uso de la mediana de la muestra aumenta la robustez de la prueba para muestras pequeñas; es decir el análisis de los diferentes equipos dentro de una marca.

#### **4.4.3.8 Aplicabilidad.**

Se utiliza el término de Aplicabilidad, cuando un método de análisis puede utilizarse satisfactoriamente y tiene un funcionamiento satisfactorio para cada factor, puede incluir también advertencias acerca de la interferencia conocida de otros parámetros, o la inaplicabilidad de alguno de estos. Es decir, la aplicabilidad consiste en una declaración de las especificaciones del rendimiento del método, que se entrega en el informe de confirmación y que normalmente incluye la siguiente información:

- La identidad de la sustancia, equipo o material analizado.
- El intervalo cubierto por la validación.
- Una especificación de la sustancia, equipo o material de prueba cubierto por la validación.
- La aplicación prevista y de sus requisitos de incertidumbre críticos.
- En este sentido, la prueba de aplicabilidad, consiste en el ámbito de aplicación del método declarado por el responsable de la confirmación, una vez concluida esta.
- En aquellos casos que se trate de un método normalizado u oficializado, esta declaración se realiza de acuerdo a los antecedentes bibliográficos o normativos del método.

#### **4.4.3.9 Incertidumbre.**

La incertidumbre de medición es considerado un parámetro esencial en una confirmación o validación de un método; La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud: Toda medición lleva implícita una incertidumbre, que de acuerdo al VIM, es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando (valor de una magnitud). El Centro Nacional de Metrología de México cuenta con la Guía para estimar la incertidumbre de medición,

dónde se estable, de forma general, lineamientos para estimar incertidumbres de medición de acuerdo a la GUM, la cual es considerada como la referencia maestra. Lo más relevante para el cálculo de incertidumbre es la identificación del modelo físico y matemático para determinar la relación entre las variables involucradas y así determinar las fuentes de incertidumbre que entre otras pueden resultar de:

- los resultados de la calibración del instrumento;
- la incertidumbre del patrón o del material de referencia;
- la repetibilidad de las lecturas;
- la reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos;
- características del propio instrumento, como resolución, histéresis, deriva, etc.;
- variaciones de las condiciones ambientales;
- la definición del propio mensurando;
- el modelo particular de la medición;
- variaciones en las magnitudes de influencia.

Luego realizar la respectiva cuantificación, determinación de la incertidumbre estándar, la combinación, correlación y finalmente la Incertidumbre expandida que es la reportada en un ensayo o calibración en un laboratorio. Es importante aclarar que la tendencia es que en todos los procesos de investigación se tenga un cálculo de incertidumbre.

#### **4.4.4 Resultados de la confirmación parámetros tradicionales.**

Los resultados de la confirmación del método para los ensayos a equipos acondicionadores de aire se presentan de dos formas:

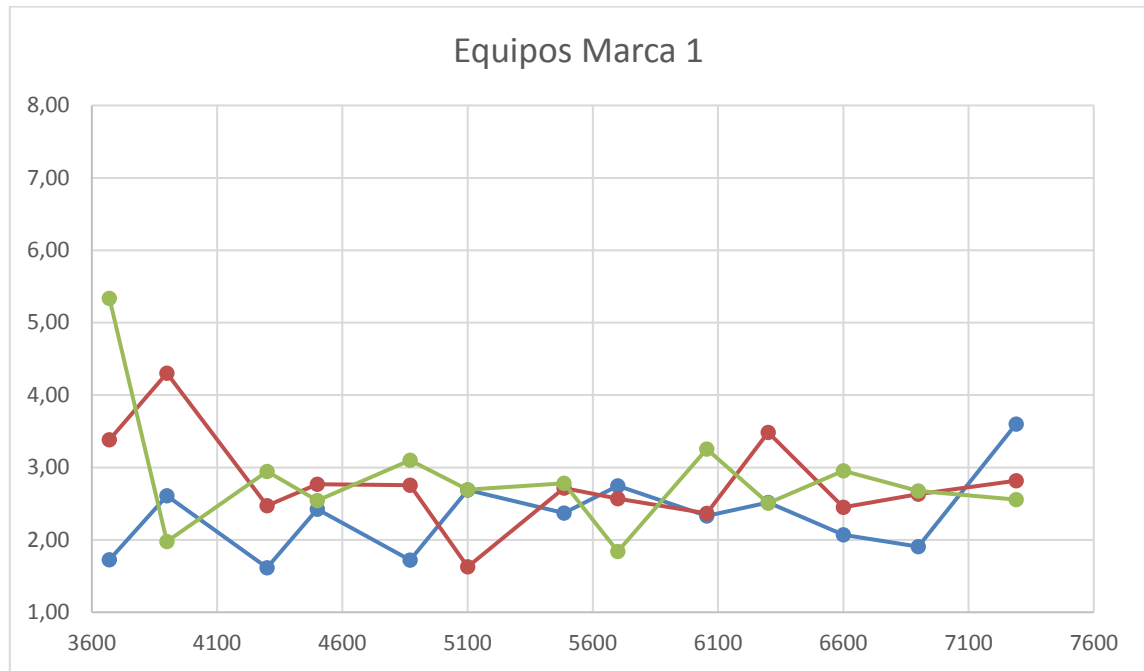
- Análisis del método de medición por cada marca con cada uno de los parámetros
- Análisis de cada uno de los parámetros.

##### ***4.4.4.1 Análisis de los Resultados Equipos Marca 1.***

Para la obtención de los resultados y análisis de las mediciones se utilizó el software Minitab 17, por medio de una prueba gratuita por 30 días, descargada desde la página oficial del fabricante, con el fin de usarlo en este estudio.

Se observa el comportamiento de los equipos para la marca 1 en la Figura 16 y se inicia el cálculo de cada uno de los parámetros en la confirmación:

**Figura 16. Comportamiento Equipos Marca 1.**

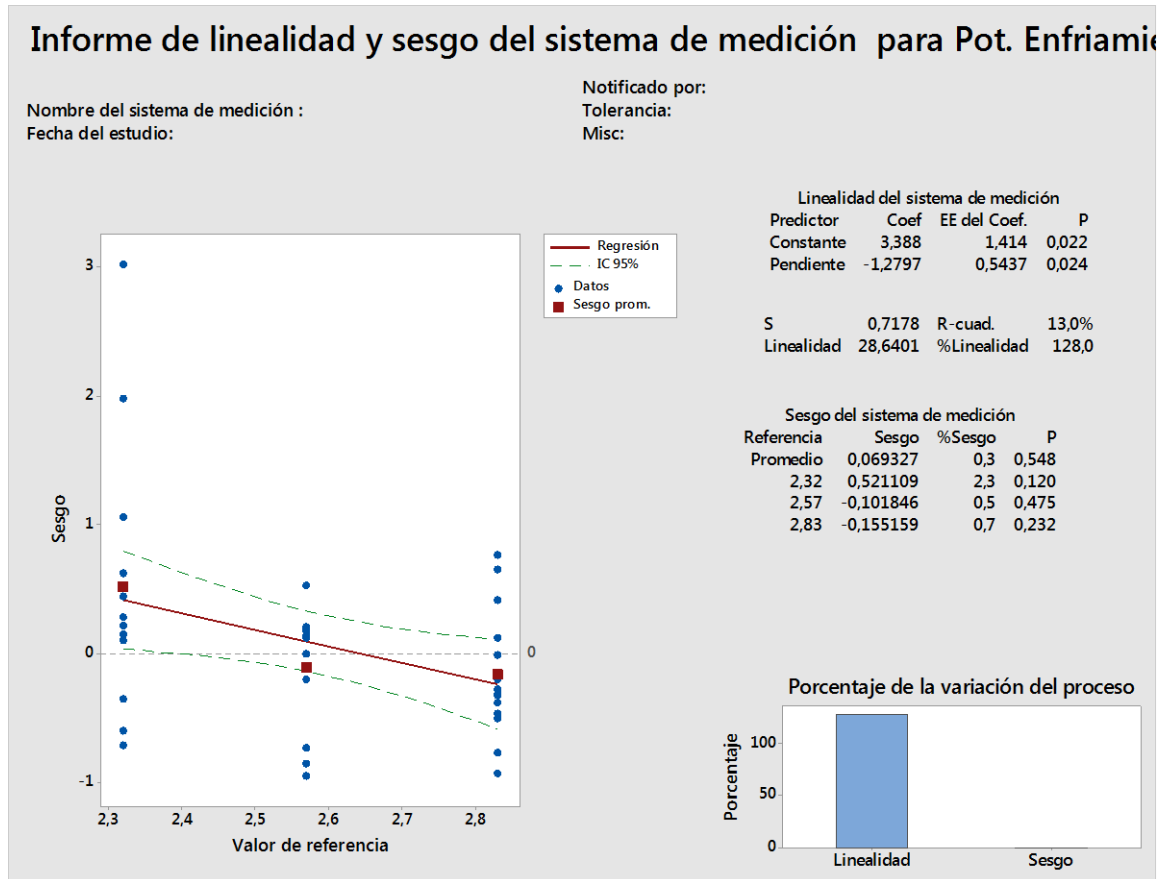


**Fuente:** Elaboración propia.

La **linealidad** del sistema de medición indica cuán exactas son las mediciones a través del rango esperado de las mediciones. Responde al interrogante, “¿Tiene el sistema de medición la misma exactitud para los tamaños de los objetos que se miden?”. Se visualiza el resultado de linealidad en la Figura 17, como se observa la linealidad del sistema de medición representa el 128% de la variación general del proceso.

La **Veracidad** se determina hallando el sesgo del sistema de medición, que examina la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal o de referencia. Responde al interrogante, “¿Cuán sesgado es el sistema de medición en comparación con el valor principal?”. Se visualiza el resultado de sesgo en la Figura 17, como se observa el sesgo representa menos del 0.3 % de la variación general del sistema.

**Figura 17. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 1.**



*Fuente: Minitab.*

La **Robustez** del sistema de medición o también denominado homogeneidad de varianzas, el método utilizado es el de Levene, este método considera las separaciones de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra. El uso de la mediana de la muestra aumenta la robustez de la prueba para muestras pequeñas.

Se visualiza en la Figura 18 los resultados, y se concluye para el método de Levene, cuyo valor  $p$  (0.157) es mayor que el nivel de significancia  $\alpha$  (0,05), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula de que las desviaciones estándar son iguales. No hay suficiente evidencia para afirmar que los equipos de la marca 1 en la potencia de enfriamiento tienen desviaciones estándar desiguales.

**Figura 18. Resultado de Robustez Equipos Marca 1.**

**Prueba de varianzas iguales: Pot. Enfriamiento vs. Numpart. Referencia. Tiempo**

Método

Hipótesis nula            Todas las varianzas son iguales  
 Hipótesis alterna        Por lo menos una varianza es diferente  
 Nivel de significancia    $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Numpart	Referencia	Tiempo	N	Desv.Est.	IC
1	2,32	5	12	1,07149	(0,486257. 2,94950)
2	2,57	5	12	0,47679	(0,269148. 1,05513)
3	2,83	5	15	0,48060	(0,306264. 0,89741)

Nivel de confianza individual = 98,3333%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,234
Levene	1,95	0,157

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 19 los intervalos de comparación, estos se sobreponen, es decir, las desviaciones estándar para los equipos marca 1 son significativamente iguales.

*Figura 19. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 1.*

**Prueba de varianzas iguales: Pot. Enfriamiento vs. Numpart. Referencia. Tiempo**  
**Múltiples intervalos de comparación para la desviación estándar,  $\alpha = 0,05$**

Numpart Referencia Tiempo

1 2,32

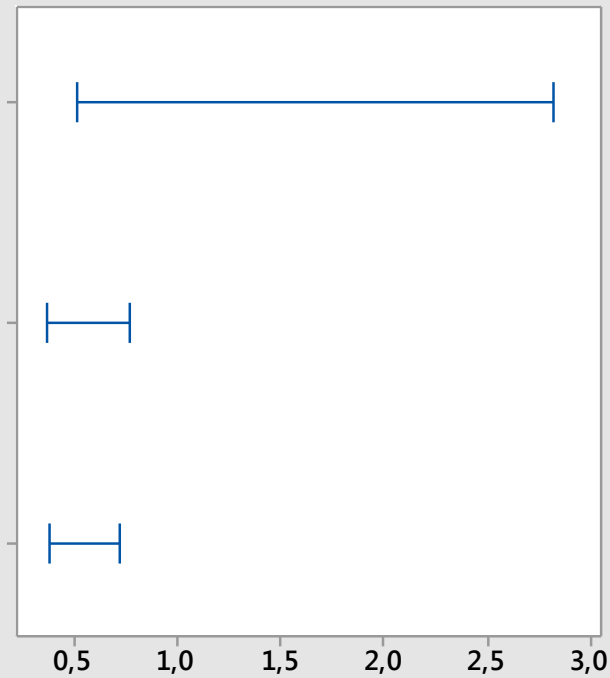
5

2 2,57

5

3 2,83

5



Comparaciones múltiples

Valor p 0,234

Prueba de Levene

Valor p 0,157

*Si los intervalos no se superponen, las Desv.Est. correspondientes son significativamente diferentes.*

**Fuente: Minitab 17**

La **Precisión** del sistema de medición, también conocido como el Estudio de **Repetibilidad y Reproducibilidad** (R&R). Para el análisis en los equipos acondicionadores de aire se utiliza Sistema de Medición R&R Anidado. Este concepto se explica en el manual de referencia MSA-4:2010 de la siguiente manera:

Este enfoque ve a cada parte como un material por separado, (...). Esto producirá valores múltiples y por separado de repetibilidad y reproducibilidad. Dado que las partes son consideradas como esencialmente idénticas, se asume que estos estimativos por separado son efectivamente idénticos. Por supuesto nunca serán exactamente los mismos, pero su promedio ofrecerá un buen estimativo del nivel verdadero de repetibilidad y reproducibilidad similar. (Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185)

La tabla de R&R del sistema de medición desglosa las fuentes de variabilidad total:

- **Estudio R&R del sistema de medición total** consta de:
  - Repetibilidad:** la variabilidad resultante aplicando la totalidad de las mismas condiciones de medida.
  - Reproducibilidad:** la variabilidad resultante cuando aplicando diferentes condiciones de medida. (Ésta se puede dividir aún más hasta llegar a los componentes de operador y operador por parte).
- **Parte a parte:** la variabilidad en las mediciones entre partes diferentes.

La Figura 20 ilustra la “Gráfica de “Potencia por laboratorista” indica el promedio de todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por el laboratorista; lo ideal es que las mediciones promedio varíen en igual cantidad y lo menos posible entre laboratoristas. Lo que se puede observar es que el laboratorista 1 tiene un promedio más bajo que el de sus compañeros; además, se identifica 1 valor atípico representado con asteriscos en las mediciones del laboratorista 3.





**Gráfica de “Componentes de variación”** en la gráfica se tiene que la variación debida al sistema de medición equivale el 81.58%; al observar los componentes de variación de este estudio se muestra que la repetibilidad es del 68.86% frente a un 12.72% de reproducibilidad, por lo tanto se evidencia que la repetibilidad genera la mayor contribución para el alto porcentaje del R&R total.

Minitab utiliza el procedimiento de análisis de varianza ANOVA para calcular los componentes de la varianza; luego, utiliza esos componentes para estimar el porcentaje de variación causado por el sistema de medición, la Figura 21 muestra estos resultados.

**Figura 21. R&R del Sistema de Medición Equipos Marca 1.**

### **R&R del sistema de medición (anidado) para Pot. Enfriamiento**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Equipo	2	3,0417	1,52085	2,22995	0,163
Medición (Equipo)	9	6,1381	0,68201	1,80261	0,120
Repetibilidad	24	9,0803	0,37835		
Total	35	18,2601			

### **R&R del sistema de medición**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,448250	81,58
Repetibilidad	0,378347	68,86
Reproducibilidad	0,069903	12,72
Parte a parte	0,101221	18,42
Variación total	0,549471	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0,669515	4,01709	90,32
Repetibilidad	0,615099	3,69059	82,98
Reproducibilidad	0,264392	1,58635	35,67
Parte a parte	0,318153	1,90892	42,92
Variación total	0,741263	4,44758	100,00

Número de categorías distintas = 1

*Fuente: Minitab 17.*

Para analizar los resultados se deben tener en cuenta los criterios de aceptación sugeridos por la AIAG y relacionados en la Figura 22; de acuerdo a estas directrices, este sistema de medición no es aceptable, ya que contiene más del 30% de la variación general. Es evidente entonces que el sistema de medición necesita mejoras enfocadas a reducir el porcentaje de repetibilidad.

**Figura 22. Criterios de Aceptación AIAG.**

GRR	Decision	Comentarios
Abajo del 10 por ciento	Generalmente considerado como un sistema de medición aceptable.	Recomendado, especialmente útil cuando se trate de separar ó clasificar partes ó cuando se requiere cerrar el control del proceso.
Del 10 al 30 por ciento	Puede ser aceptable para algunas aplicaciones	La decision debiera basarse en, por ejemplo, importancia de las mediciones en la aplicación, costos de dispositivos de medición, costos de retrabajos ó reparaciones.  Debiera ser aprobado por el cliente.
Arriba del 30 por ciento	Se considera inaceptable	Debiera hacerse todo esfuerzo por mejorar el sistema de medición.  Esta condición puede ser abordada por el uso de una estrategia de mediciones apropiada; por ejemplo, usando el resultado promedio de varias lecturas sobre la misma característica de la parte, a fin de reducir la variación final en las mediciones.

*Fuente: Manual de Referencia de MSA-4:2010.*

La **Sensibilidad** para el sistema medición se utiliza la regresión ortogonal (regresión Deming) para probar si los equipos de la marca 1 proveen mediciones comparables. El intervalo de confianza para la **pendiente** debe contener 1 y el intervalo de confianza de la **intersección** debe contener 0.

Las hipótesis para la pendiente son:  $H_0: B_1 = 0$  versus  $H_1: B_1 \neq 0$

Las hipótesis para la intersección son:  $H_0: B_0 = 0$  versus  $H_1: B_0 \neq 0$

Aquí se hará 3 diferentes combinaciones para la comparación para los equipos de la marca 1

- Equipo1 M1 vs Equipo2 M1: El resultado se muestran en la Figura 23; como 0 está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-0,548136; 0,53031) y 1 no dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,648835 ; 1,02630). Por lo tanto, no existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 midan distinto con una variación de 0,90.

**Figura 23. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 1.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo1 M1 versus Equipo2 M1**

Relación Error - Varianza (Equipo1 M1/Equipo2 M1): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo1 M1 = - 0,009 + 0,838 Equipo2 M1

Coefficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-0,00892	0,275118	-0,0324	0,974	(-0,548136; 0,53031)
Equipo2 M1	0,83757	0,096294	8,6980	0,000	( 0,648835; 1,02630)

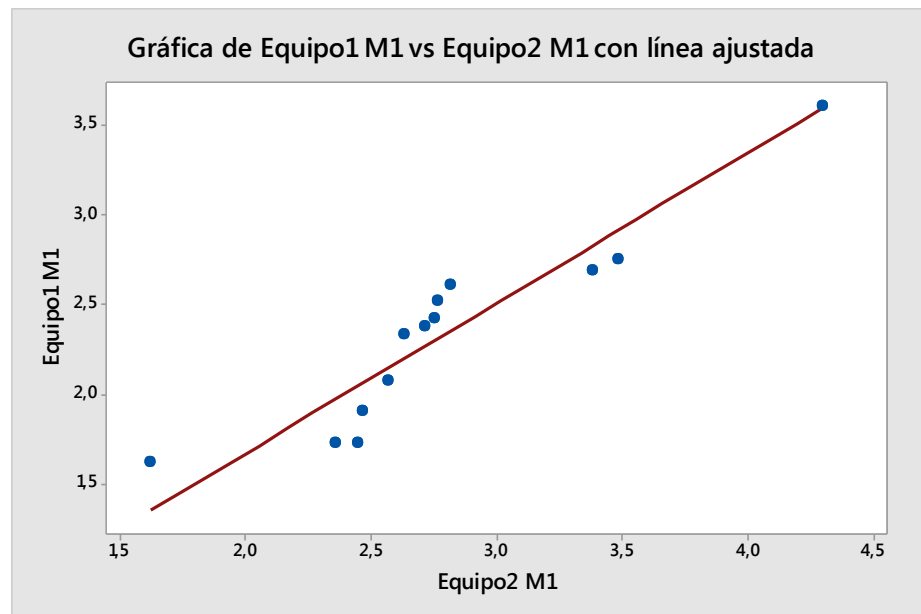
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo1 M1	0,0214961
Equipo2 M1	0,0238845

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 24 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

**Figura 24. Línea de Ajuste Equipos 1 y 2 Marca 1.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo1 M1 vs Equipo3 M1: El resultado se muestran en la Figura 25; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (0,116394; 0,980986) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,478231; 0,769979). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

**Figura 25. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 1.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo1 M1 versus Equipo3 M1**

Relación Error - Varianza (Equipo1 M1/Equipo3 M1): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo1 M1 = 0,549 + 0,624 Equipo3 M1

#### **Coefficientes**

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	0,54869	0,220563	2,4877	0,013	(0,116394; 0,980986)
Equipo3 M1	0,62410	0,074427	8,3855	0,000	(0,478231; 0,769979)

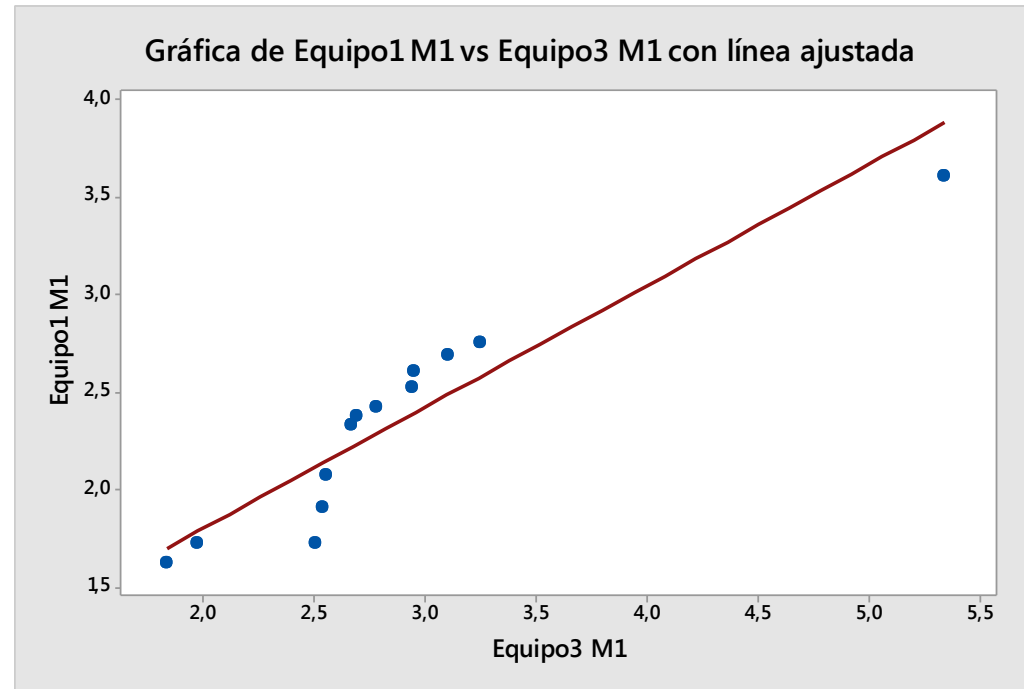
#### **Varianzas del error**

Variable	Varianza
Equipo1 M1	0,0281264
Equipo3 M1	0,0312516

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 26 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

**Figura 26. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 1 y 3 Marca 1.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo2 M1 vs Equipo3 M1: El resultado se muestran en la Figura 27; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (0,139002; 1,17876) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,572013; 0,92307). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

*Figura 27. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 1.*

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo2 M1 versus Equipo3 M1**

Relación Error - Varianza (Equipo2 M1/Equipo3 M1): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo2 M1 = 0,659 + 0,748 Equipo3 M1

Coefficientes

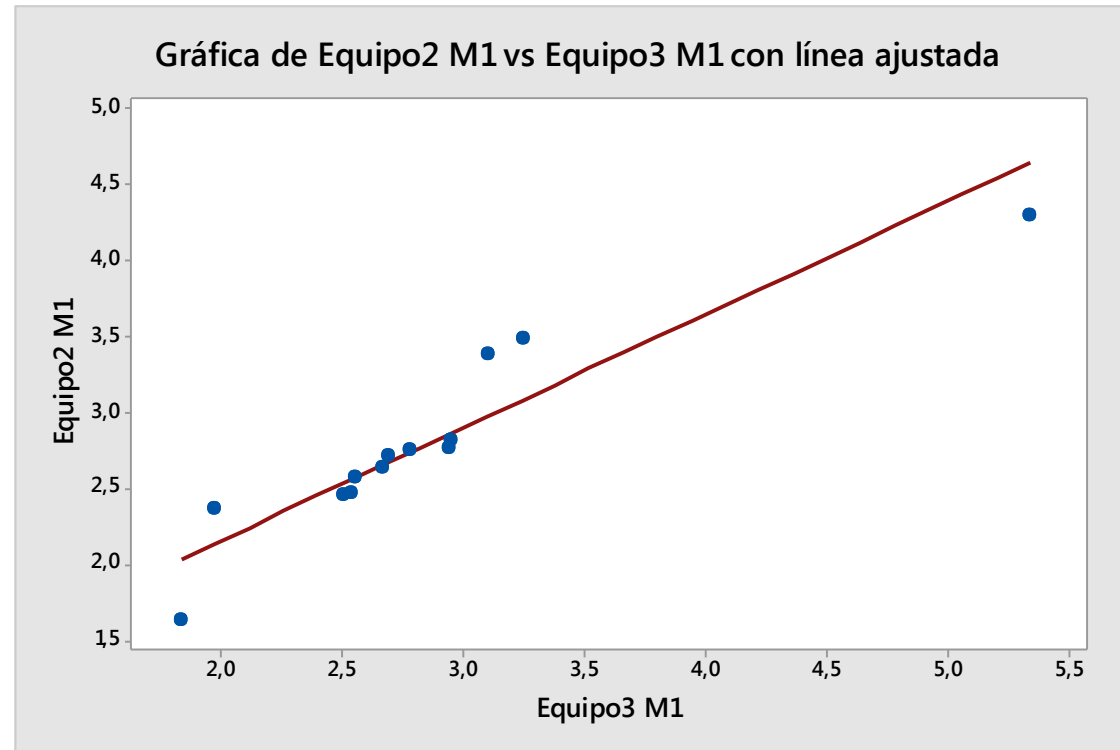
Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	0,65888	0,265248	2,4840	0,013	(0,139002; 1,17876)
Equipo3 M1	0,74754	0,089557	8,3471	0,000	(0,572013; 0,92307)

Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo2 M1	0,0354087
Equipo3 M1	0,0393430

Se muestra en la Figura 28 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

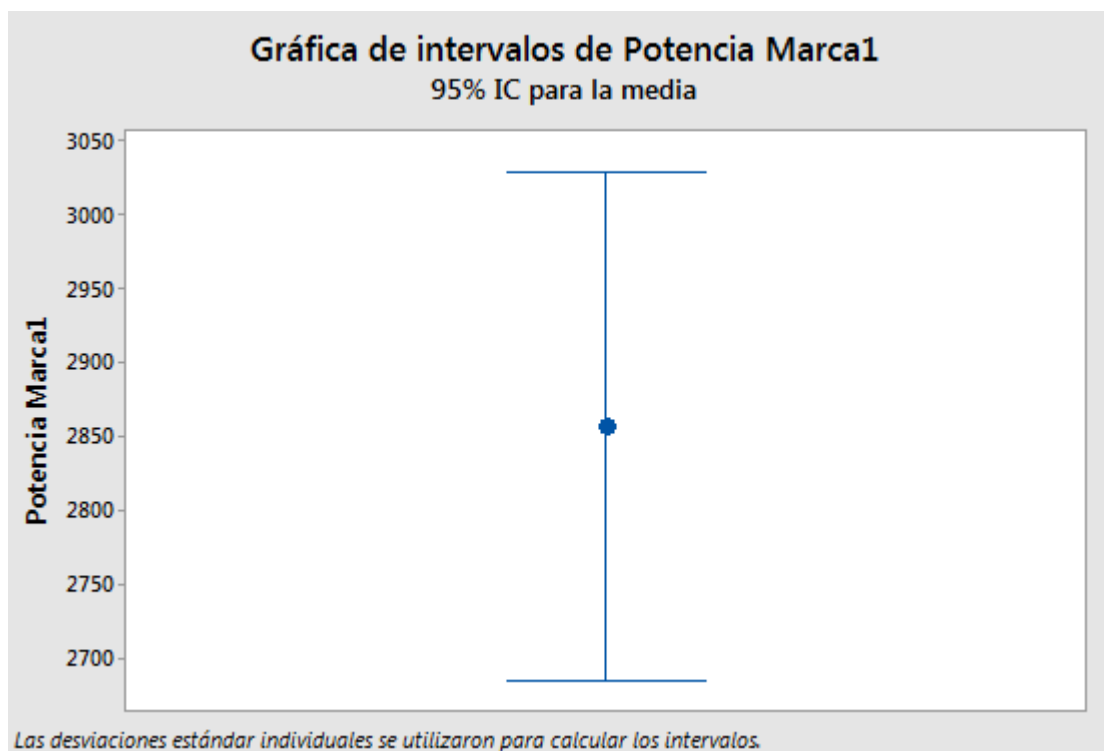
**Figura 28. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 2 y 3 Marca 1.**



*Fuente: Minitab 17.*

Los **Límites** se evalúan mediante el **intervalo de confianza** Figura 29 que se determina para la marca 1 con los datos experimentales calculados en el laboratorio, Se muestra la comparación de la potencia de enfriamiento en la tabla 30, el intervalo de confianza hallado está incluido el dato de potencia de enfriamiento declarado por el fabricante; además de la similitud entre este intervalo y el 10% en el que se ha encontrado la variación del dato declarado por el fabricante.

**Figura 29. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 1.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Tabla 30. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 1.**

Potencia de Enfriamiento (W)			
Dato declarado por el fabricante	2579,13		
Norma NTC-4366 con el +/- 5% de acuerdo a la declaración del fabricante	(2450,17 ; 2708,08)		
<b>Intervalo de Confianza</b> hallado en el laboratorio	(2390,57 ; 2879,35)		
Con el +/- <b>10%</b> según el estudio de este proyecto y para cuando los equipos no cumplen con el 5%.	(2321,22 ; 2837,04)		
Datos de los equipos ensayados en el laboratorio	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
	2580,88	3091,44	3208,71
	2653,66	2752,37	2851,63
	2617,27	2921,90	3030,17



*Fuente: Elaboración propia.*

La **Aplicabilidad** del sistema de medición, se demuestra a partir de la completa aplicación de las normas para cada uno de los ensayos; el ítem a ensayar (equipo acondicionador de aire) no se modifica ni tampoco su forma; el calorímetro está dispuesto para la realización de la pruebas sin ningún tipo de modificación entre una y otra; la toma de datos es independiente para cada ensayo; además de la descripción de cómo realizar la prueba en los instructivos del laboratorio para los funcionarios que operan el calorímetro demuestra la aplicabilidad del método.

La **Incertidumbre** del sistema de medición, comprende todas las variables involucradas en las pruebas. El cálculo de la incertidumbre utilizado en el LPEA se describe completamente en la publicación de la revista Scientia et Technica del año 2006 “Procedimiento para el cálculo de incertidumbre en la estimación de la potencia de enfriamiento de acondicionadores de aire de recinto”. El laboratorio en un documento interno denominado Instructivo para cálculo de incertidumbre 123-LPEA-INT-16 lo tiene desarrollado, en este sentido se hace referencia a las ecuaciones y cálculos ya elaborados, mostraré continuación algunas de las ecuaciones descritas en los documentos mencionados:

- Cálculo de la incertidumbre en la medición de la potencia eléctrica consumida por los equipos en el interior de la cámara:  $u_{Pr}$

$$u_{Wr} = \sqrt{u_{A;Wr}^2 + u_{cal;Wr}^2 + u_{deriv a;Wr}^2 + u_{temp;Wr}^2 + u_{met;Wr}^2 + u_{res;Wr}^2 + u_{rep;Wr}^2} \quad [\text{kg/s}]$$

- Cálculo de la incertidumbre en la medición de las pérdidas por el tabique de separación:

$u_{\phi;lp}$

$$u_{\phi;lp} = \sqrt{\left[ \frac{\delta_{\phi;lp}}{\delta_{\phi;lt}} \cdot u_{\phi;lt} \right]^2 + \left[ \frac{\delta_{\phi;lr}}{\delta_{\phi;lr}} \cdot u_{\phi;lr} \right]^2} \quad [\text{W}]$$

- Cálculo de incertidumbre de la entalpía del agua suministrada para mantener la humedad del recinto interior:  $u_{hw;1}$

$$u_{hw;1} = \sqrt{\left[ \frac{\delta_{h;w1}}{\delta_{T;H2O;hum;AA1}} \cdot u_{T;H2O;hum;AA1} \right]^2} \quad [\text{kJ/kg}]$$

- Cálculo de la incertidumbre en la medición de la temperatura del agua  $u_{T;H2O;hum;AA1}$

$$u_{T;H_2O;hum;AA1} = \sqrt{u_{A;T;H_2O;hum;AA1}^2 + u_{cal;T;H_2O;hum;AA1}^2 + u_{deriv a;T;H_2O;hum;AA1}^2 + \dots \text{continúa}}$$

$$\dots\dots\dots \sqrt{u_{temp;T;H_2O;hum;AA1}^2 + u_{met;T;H_2O;hum;AA1}^2 + u_{res;T;H_2O;hum;AA1}^2 + u_{rep;T;H_2O;hum;AA1}^2}$$

- Cálculo de incertidumbre de la entalpía del aire a la salida del equipo de reacondicionamiento del aire de la cámara interior:  $u_{hw;2}$

$$u_{hw;2} = \sqrt{\left[ \frac{\delta_{h;w2}}{\delta_{T;a;sal;AA1;bs}} \cdot u_{T;T;a;sal;AA1;bs} \right]^2 + \left[ \frac{\delta_{h;w2}}{\delta_w} \cdot u_w \right]^2} \quad [\text{kJ/kg}]$$

- Calculo de incertidumbre en la estimación del contenido de humedad:  $u_w$

$$u_w = \sqrt{\left[ \frac{\delta_w}{\delta_{pv}} \cdot u_{pv} \right]^2 + \left[ \frac{\delta_w}{\delta_{pb}} \cdot u_{pb} \right]^2} \quad [\text{kg agua /kg aire seco}]$$

- Calculo de incertidumbre en la estimación la temperatura de dew point:  $u_{T;a;sal;AA1;dp}$

$$u_{met;T;a;sal;AA1;dp} = \sqrt{u_{TC;T;a;sal;AA1;dp}^2 + u_{vol;T;a;sal;AA1;dp}^2 + u_{PT100;T;a;sal;AA1;dp}^2 + u_{estrat;T;a;sal;AA1;dp}^2}$$

- Calculo de incertidumbre en la estimación la presión barométrica local:  $u_{pb}$

$$u_{pb} = \sqrt{u_{A;pb}^2 + u_{cal;pb}^2 + u_{deriv a;pb}^2 + u_{temp;pb}^2 + u_{res;pb}^2 + u_{rep;pb}^2}$$

Y por último la Incertidumbre expandida que reporta el laboratorio en las pruebas realizadas en la confirmación Tabla 31.

**Tabla 31. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 1.**

Marca	Equipo	Incertidumbre expandida
Marca 1	Equipo 1 M1	250 W
	Equipo 2 M1	250 W
	Equipo 3 M1	250 W
Marca 2	Equipo 1 M2	250 W
	Equipo 2 M2	250 W
	Equipo 3 M2	250 W
Marca 3	Equipo 1 M3	250 W
	Equipo 2 M3	250 W
	Equipo 3 M3	250 W
Marca 4	Equipo 1 M4	250 W
	Equipo 2 M4	250 W
	Equipo 3 M4	250 W

**Fuente:** Elaboración propia.

La **ANOVA** del sistema de medición, como otro parámetro se utiliza para realizar el análisis de varianza de las diferentes marcas para las cuales se desarrolla la confirmación.

Los resultados se observan en la Figura 30, dónde el valor  $p$  (0,000) indica que hay suficiente evidencia que no todas las medias para los equipos de la marca 1 son iguales, cuando el nivel de significancia  $\alpha$  es 0,05. Es decir, se rechaza la  $H_0$ .

**Figura 30. Resultado ANOVA.****ANOVA unidireccional: Respuesta (Potencia) vs. Factor (Equipo)****Método**

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        Por lo menos una media es diferente  
 Nivel de significancia    $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

**Información del factor**

Factor	Niveles	Valores
Factor (Equipo)	4	1; 2; 3; 4

**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor (Equipo)	3	101993133	33997711	652,52	0,000
Error	8	416818	52102		
Total	11	102409951			

**Resumen del modelo**

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
228,259	99,59%	99,44%	99,08%

**Medias****Factor**

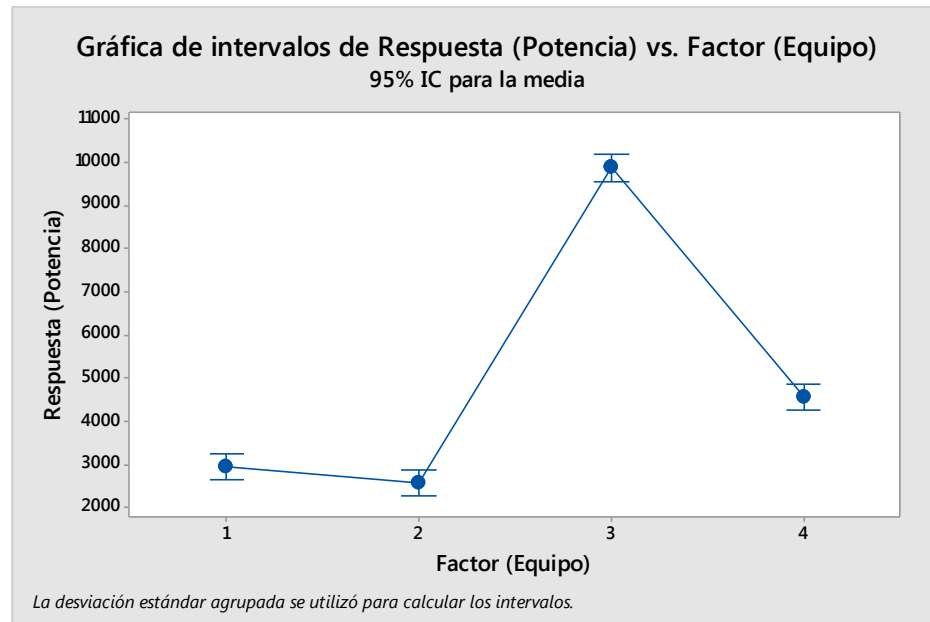
(Equipo)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	3	2960	334	( 2656; 3264)
2	3	2564,7	97,6	(2260,8; 2868,6)
3	3	9869	254	( 9565; 10172)
4	3	4547,2	150,9	(4243,3; 4851,1)

Desv.Est. agrupada = 228,259

*Fuente: Minitab 17.*

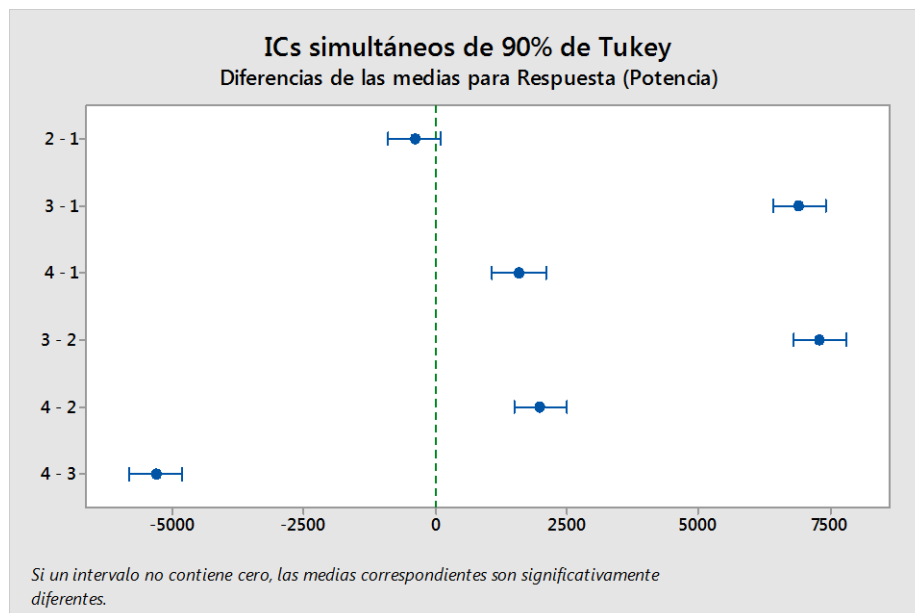
Las Figuras 31, 32 y 33 muestran en su orden los intervalos de cada marca, por Tukey y por Hsu.

**Figura 31. Intervalos de Respuesta.**

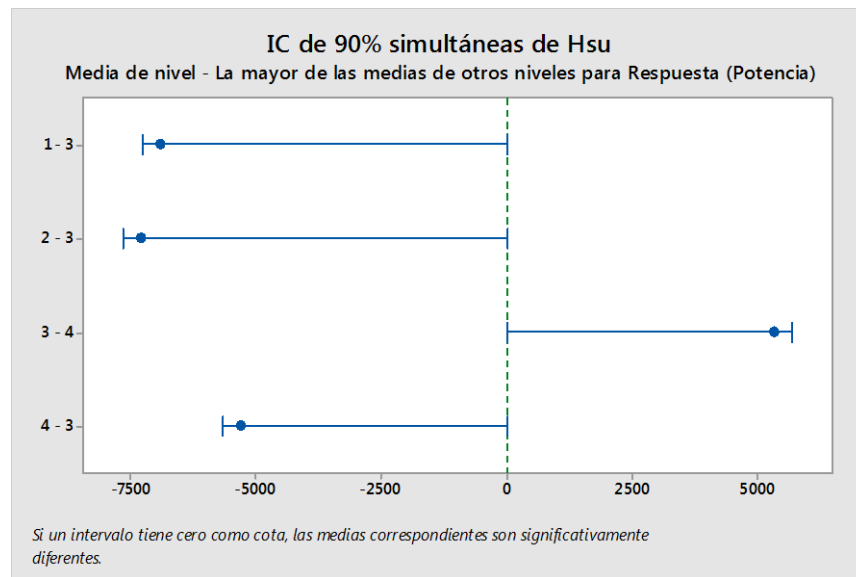


*Fuente: Minitab 17.*

**Figura 32. Intervalos de Tukey.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Figura 33. Intervalos de Hsu.**

*Fuente: Minitab 17.*

Ahora se plantea para las marcas 2,3 y 4 realizar el análisis con cada uno de los parámetros en la confirmación exceptuando Aplicabilidad, Incertidumbre y ANOVA que se hicieron en conjunto para las cuatro marcas de equipos.

#### **4.4.4.2 Análisis de los resultados equipos Marca 2.**

Se observa el comportamiento de los equipos para la marca 2 en la Figura 34 y se inicia el cálculo de cada uno de los parámetros en la confirmación:

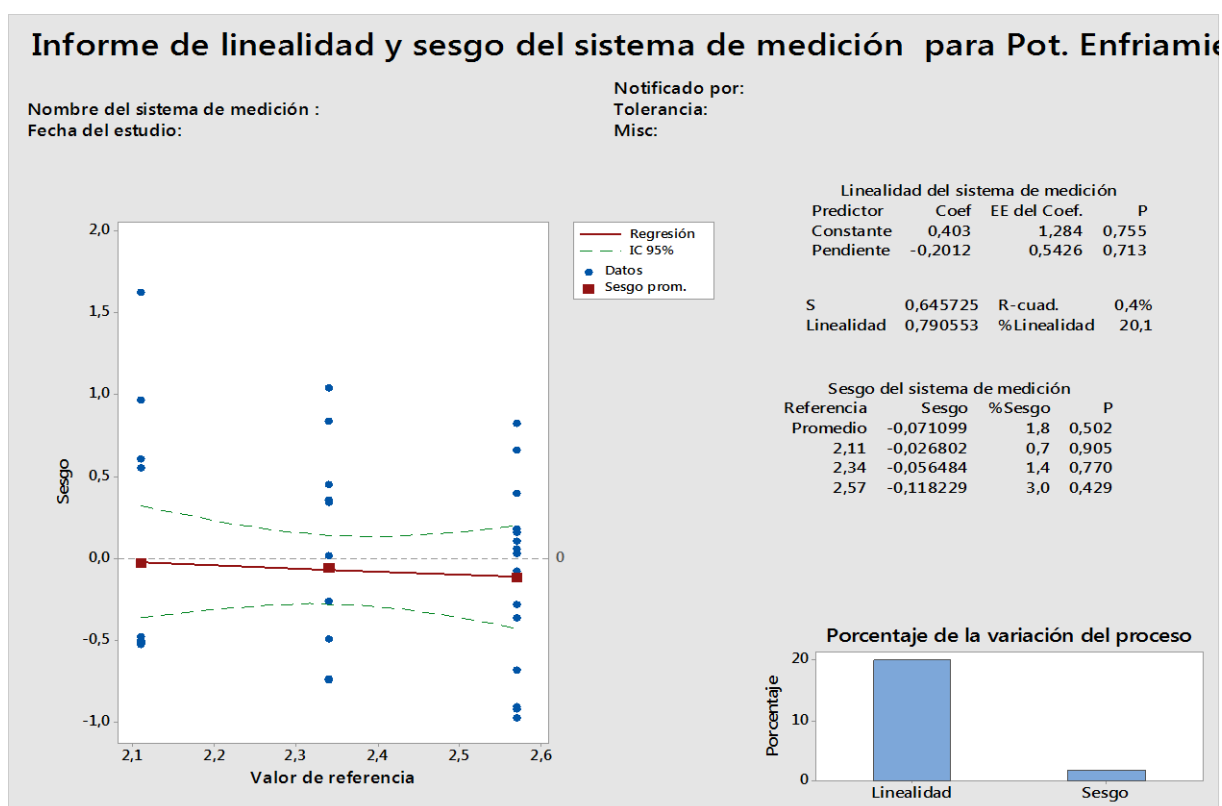
**Figura 34. Comportamiento Equipos Marca 2.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La **linealidad** del sistema de medición indica cuán exactas son las mediciones a través del rango esperado de las mediciones. Responde al interrogante, “¿Tiene el sistema de medición la misma exactitud para los tamaños de los objetos que se miden?”. Se visualiza el resultado de linealidad en la Figura 35, como se observa la linealidad del sistema de medición representa el 20,1% de la variación general del proceso.

La **Veracidad** se determina hallando el sesgo del sistema de medición, que examina la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal o de referencia. Responde al interrogante, “¿Cuán sesgado es el sistema de medición en comparación con el valor principal?”. Se visualiza el resultado de sesgo en la Figura 35, como se observa el sesgo representa menos del 1,8 % de la variación general del sistema.

**Figura 35. Resultado Linealidad y Sesgo Marca 2.**



*Fuente: Minitab 17.*

La **Robustez** del sistema de medición o también denominado homogeneidad de varianzas, el método utilizado es el de Levene, este método considera las separaciones de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra. El uso de la mediana de la muestra aumenta la robustez de la prueba para muestras pequeñas.

Se visualiza en la Figura 36 los resultados, y se concluye para el método de Levene, cuyo valor p (0.815) es mayor que el nivel de significancia  $\alpha$  (0,05), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula

de que las desviaciones estándar son iguales. No hay suficiente evidencia para afirmar que los equipos de la marca 2 en la potencia de enfriamiento tienen desviaciones estándar desiguales.

**Figura 36. Resultado de Robustez Equipos Marca 2.**

### Prueba de varianzas iguales: Pot. Enfriamiento vs. Numpart. Referencia. Tiempo

#### Método

Hipótesis nula            Todas las varianzas son iguales  
 Hipótesis alterna        Por lo menos una varianza es diferente  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Numpart	Referencia	Tiempo	N	Desv.Est.	IC
1	2,11	5	12	0,757639	(0,349709. 2,05048)
2	2,34	5	12	0,653070	(0,446250. 1,19393)
3	2,57	5	15	0,561869	(0,400759. 0,93735)

Nivel de confianza individual = 98,3333%

#### Pruebas

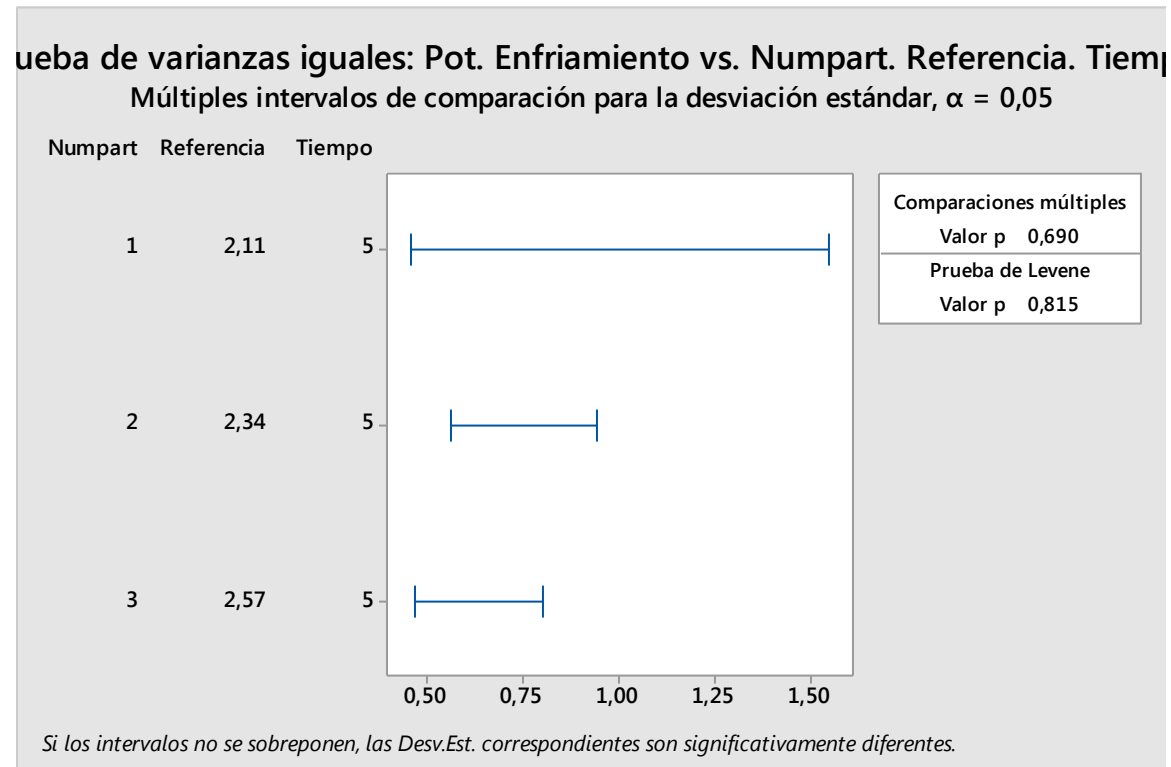
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,690
Levene	0,21	0,815

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 37 los intervalos de comparación, estos se sobreponen, es decir, las desviaciones estándar para los equipos marca 2 son significativamente iguales.



**Figura 37. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 2.**



**Fuente:** Minitab 17.

La **Precisión** del sistema de medición, también conocido como el Estudio de **Repetibilidad y Reproducibilidad** (R&R). Para el análisis en los equipos acondicionadores de aire se utiliza Sistema de Medición R&R Anidado. Este concepto se explica en el manual de referencia MSA-4:2010 de la siguiente manera:

Este enfoque ve a cada parte como un material por separado, (...). Esto producirá valores múltiples y por separado de repetibilidad y reproducibilidad. Dado que las partes son consideradas como esencialmente idénticas, se asume que estos estimativos por separado

son efectivamente idénticos. Por supuesto nunca serán exactamente los mismos, pero su promedio ofrecerá un buen estimativo del nivel verdadero de repetibilidad y reproducibilidad similar. (Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185).

La tabla de R&R del sistema de medición desglosa las fuentes de variabilidad total:

- **Estudio R&R del sistema de medición total** consta de:

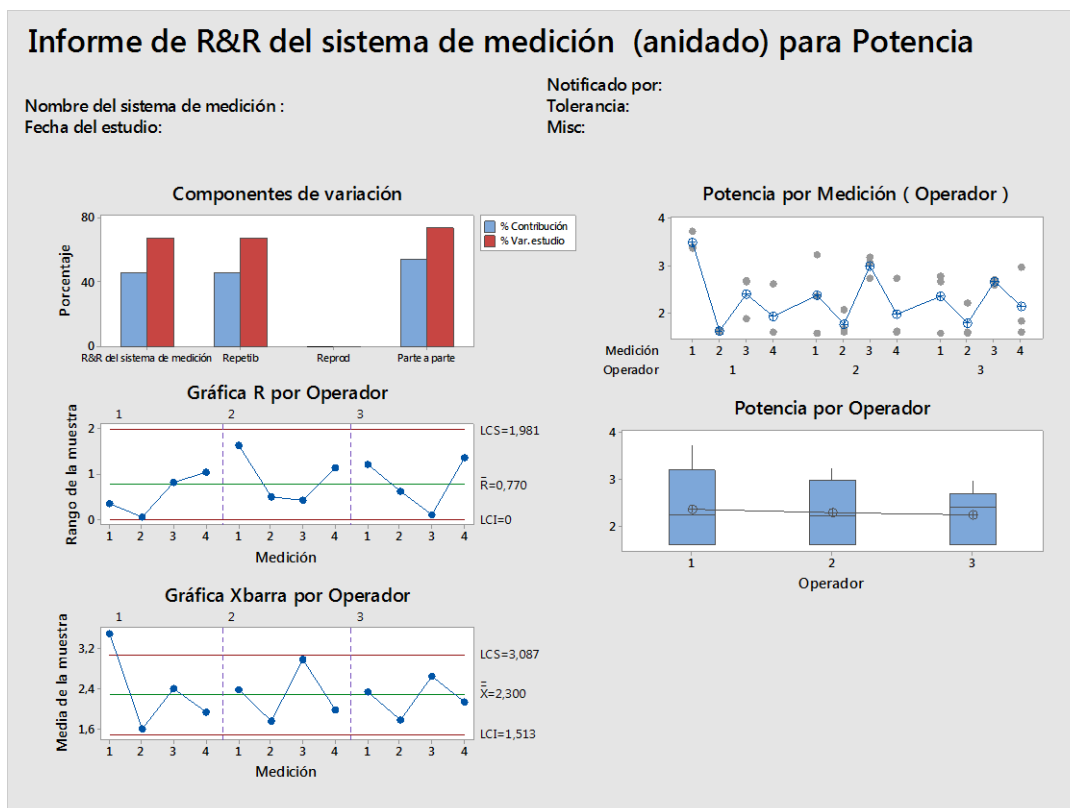
**Repetibilidad:** la variabilidad resultante de mediciones repetidas por el mismo operador.

**Reproducibilidad:** la variabilidad resultante cuando diferentes operadores miden la misma parte. (Ésta se puede dividir aún más hasta llegar a los componentes de operador y operador por parte).

- **Parte a parte:** la variabilidad en las mediciones entre partes diferentes.

La Figura 38 ilustra la “Gráfica de “Potencia por laboratorista” indica el promedio de todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por el laboratorista; lo ideal es que las mediciones promedio varíen en igual cantidad y lo menos posible entre laboratoristas. Lo que se puede observar es que los laboratoristas un promedio similar.

**Figura 38. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 2**



Fuente: Minitab 17.

**Gráfica de “Potencia por Medición laboratorista”** muestra todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por muestra (equipos acondicionadores de aire). La línea azul conecta las mediciones promedio para cada parte y los puntos grises grafican las mediciones individuales. Lo ideal es que las mediciones para cada muestra individual varíen lo menos posible y que los promedios varíen lo suficiente como para que las diferencias entre las muestras se observen claramente. Esta gráfica muestra unas mediciones de potencia de enfriamiento con significativas variaciones entre las mediciones realizadas por un mismo laboratorista a una misma muestra; esta variación puede darse por la no competencia del laboratorista o del sistema de medición para medir uniformemente las muestras.

**Gráfica de “R por laboratorista”** en la gráfica de rangos se puede evidenciar los rangos están dentro de los límites, muestra que el laboratorista mide las muestras (equipos acondicionadores de aire) con uniformidad.

**Gráfica de “X barra por laboratorista”** en la gráfica de promedios se puede observar un punto fuera de los límites de control; también se visualiza variación entre las muestras (equipos acondicionadores de aire) , lo que puede indicar que la variación entre muestra y muestra es más grande que la variación del sistema utilizado para medir.

**Gráfica de “Componentes de variación”** en la gráfica se tiene que la variación debida al sistema de medición equivale el 45.91%; al observar los componentes de variación de este estudio se muestra que la repetibilidad es del 45.91% frente a un 0% de reproducibilidad, por lo tanto se evidencia que la repetibilidad genera toda la contribución para el porcentaje del R&R total.

Se el procedimiento de análisis de varianza ANOVA para calcular los componentes de la varianza; luego, esos componentes estiman el porcentaje de variación causado por el sistema de medición, la Figura 39 muestra estos resultados.

**Figura 39. Resultado Precisión (Estudio R&R) Equipos Marca 2.**

**Estudio R&R del sistema de medición - ANOVA anidado**

**R&R del sistema de medición (anidado) para Potencia**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Operador	2	0,1025	0,05125	0,04663	0,955
Medición (Operador)	9	9,8902	1,09891	4,53491	0,001
Repetibilidad	24	5,8157	0,24232		
Total	35	15,8084			

**R&R del sistema de medición**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,242322	45,91
Repetibilidad	0,242322	45,91
Reproducibilidad	0,000000	0,00
Parte a parte	0,285529	54,09
Variación total	0,527851	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0,492262	2,95357	67,75
Repetibilidad	0,492262	2,95357	67,75
Reproducibilidad	0,000000	0,00000	0,00
Parte a parte	0,534349	3,20609	73,55
Variación total	0,726533	4,35920	100,00

Número de categorías distintas = 1

**Informe de R&R del sistema de medición (anidado) para Potencia**

*Fuente: Minitab 17.*

Para analizar los resultados se deben tener en cuenta los criterios de aceptación sugeridos por la AIAG y relacionados en la Figura 22; de acuerdo a estas directrices, este sistema de medición no es aceptable, ya que contiene más del 30% de la variación general. Es evidente entonces que el sistema de medición necesita mejoras enfocadas a reducir el porcentaje de repetibilidad.

La **Sensibilidad** para el sistema medición se utiliza la regresión ortogonal (regresión Deming) para probar si los equipos de la marca 2 proveen mediciones comparables. El intervalo de confianza para la **pendiente** debe contener 1 y el intervalo de confianza de la **intersección** debe contener 0.

Las hipótesis para la pendiente son:  $H_0: \beta_1 = 0$  versus  $H_1: \beta_1 \neq 0$

Las hipótesis para la intersección son:  $H_0: \beta_0 = 0$  versus  $H_1: \beta_0 \neq 0$

Aquí se hará 3 diferentes combinaciones para la comparación para los equipos de la marca 1.

- Equipo1 M2 vs Equipo2 M2: El resultado se muestran en la Figura 40; como 0 está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-0,53442; 0,07395) y 1 está incluido dentro del intervalo de confianza de la pendiente (1,02871 ; 1,29023). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 2 midan igual con una variación de 0,90.

**Figura 40. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 2.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo 1 M2 versus Equipo 2 M2**

Relación Error - Varianza (Equipo 1 M2/Equipo 2 M2): 0,9

Ecuación de regresión  
Equipo 1 M2 = - 0,230 + 1,159 Equipo 2 M2

#### **Coefficientes**

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-0,23024	0,155201	-1,4835	0,138	(-0,53442; 0,07395)
Equipo 2 M2	1,15947	0,066717	17,3791	0,000	( 1,02871; 1,29023)

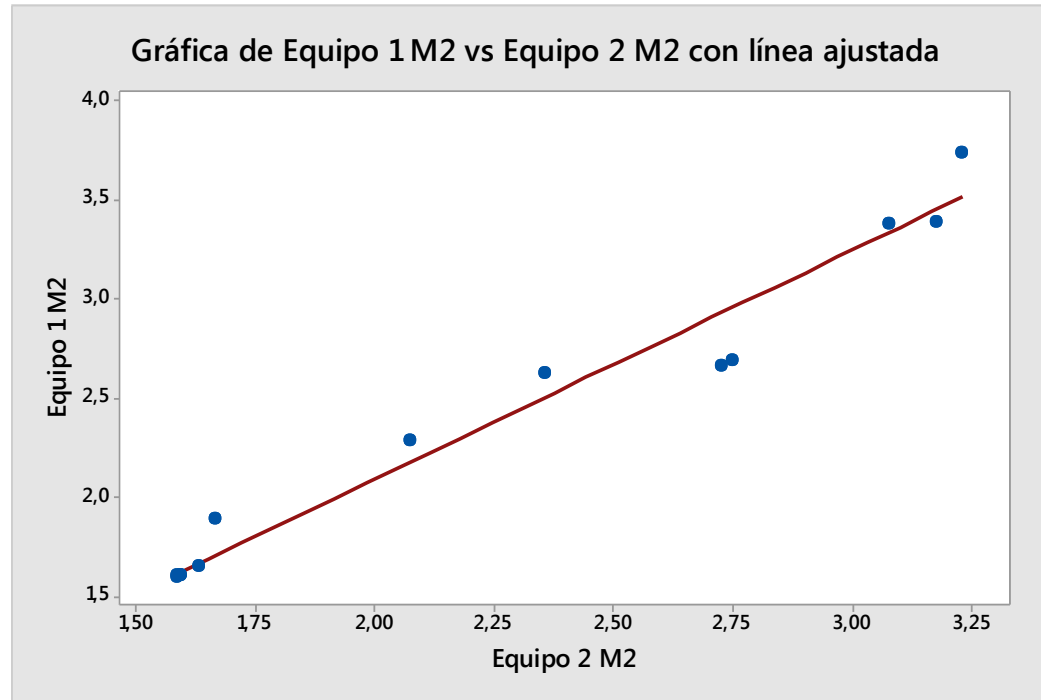
#### **Varianzas del error**

Variable	Varianza
Equipo 1 M2	0,0086744
Equipo 2 M2	0,0096382

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 41 la línea de ajuste de los equipos 1 y 2 que se compararon.

**Figura 41. Resultado Sensibilidad-línea de ajuste Equipos 1 y 2 Marca 1.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo2 M1 vs Equipo2 M3: El resultado se muestran en la Figura 42; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-1,85166; -0,20839) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (1,14613; 1,85758). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 2 miden distinto con una variación de 0,90.

*Figura 42. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 2.*

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo 1 M2 versus Equipo 3 M2**

Relación Error - Varianza (Equipo 1 M2/Equipo 3 M2): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo 1 M2 = - 1,030 + 1,502 Equipo 3 M2

Coefficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-1,03003	0,419211	-2,4571	0,014	(-1,85166; -0,20839)
Equipo 3 M2	1,50185	0,181495	8,2749	0,000	( 1,14613; 1,85758)

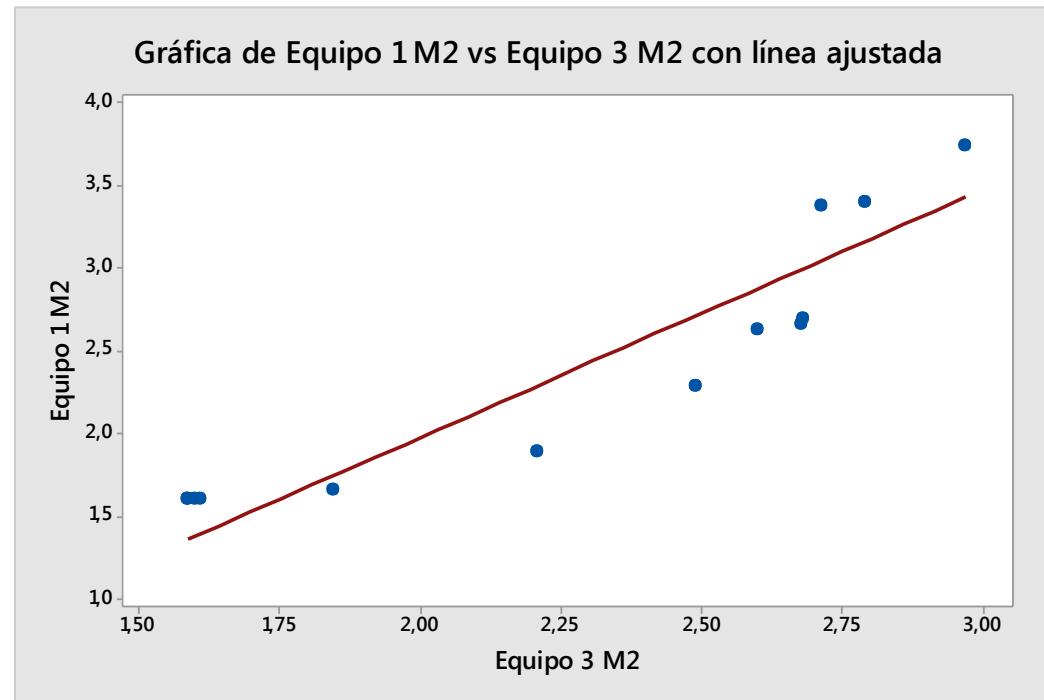
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo 1 M2	0,0257173
Equipo 3 M2	0,0285748

**Fuente: Minitab 17.**

Se muestra en la Figura 43 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

**Figura 43. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 3 Marca 2.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo2 M2 vs Equipo2 M3: El resultado se muestran en la Figura 44; como 0 está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-1,42605 ; 0,06811) y 1 está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,96700; 1,61400). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 2 miden igual con una variación de 0,90.



**Figura 44. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 2.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo 2 M2 versus Equipo 3 M2**

Relación Error - Varianza (Equipo 2 M2/Equipo 3 M2): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo 2 M2 = - 0,679 + 1,291 Equipo 3 M2

#### **Coefficientes**

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-0,67897	0,381170	-1,7813	0,075	(-1,42605; 0,06811)
Equipo 3 M2	1,29050	0,165054	7,8187	0,000	( 0,96700; 1,61400)

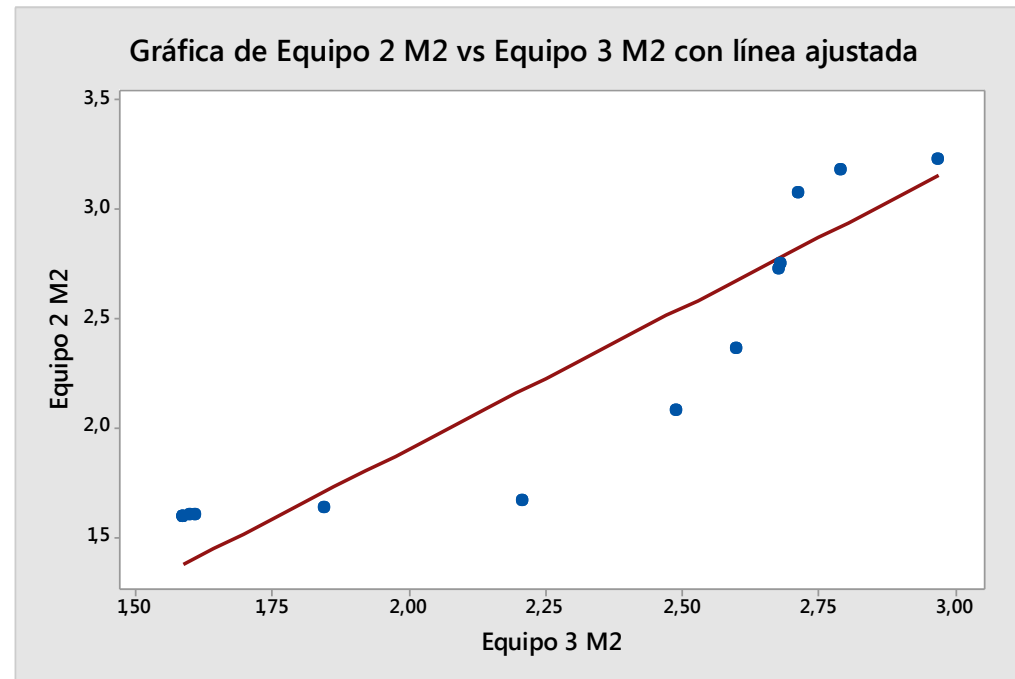
#### **Varianzas del error**

Variable	Varianza
Equipo 2 M2	0,0259568
Equipo 3 M2	0,0288409

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 45 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

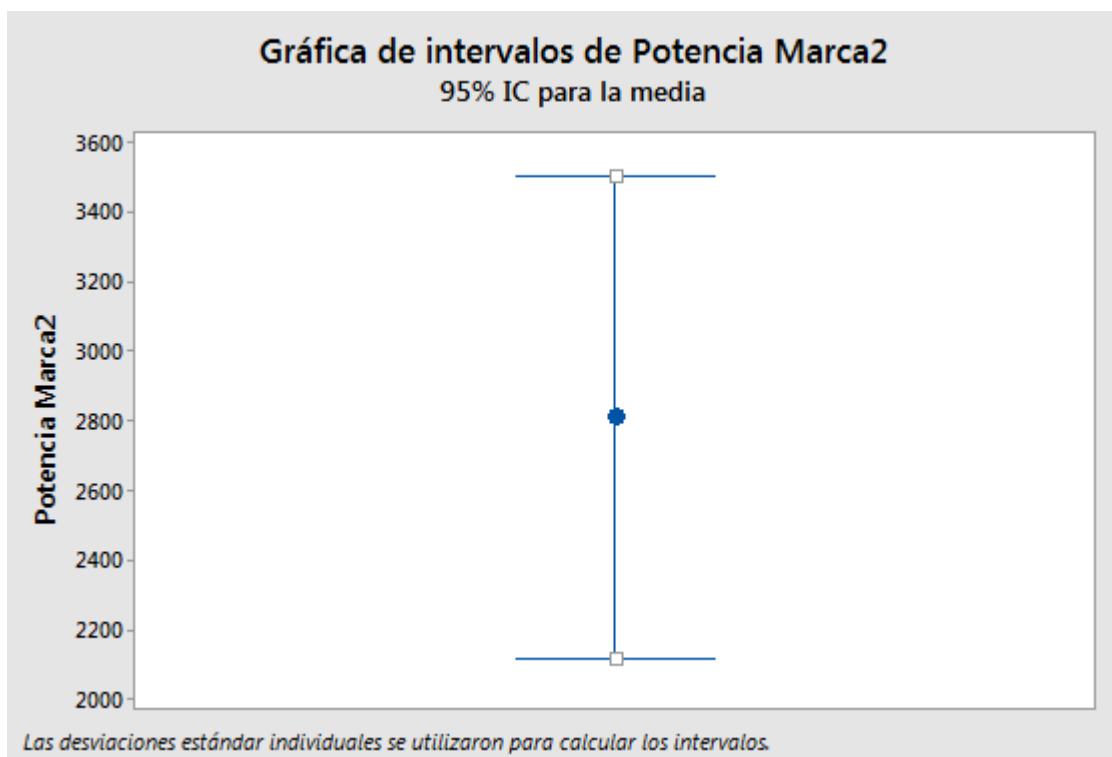
**Figura 45. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 3 Marca 2.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Los **Límites** se evalúan mediante el **intervalo de confianza** Figura 46 que se determina para la marca 1 con los datos experimentales calculados en el laboratorio, se muestra la comparación de la potencia de enfriamiento en la tabla 32, el intervalo de confianza hallado está incluido el dato de potencia de enfriamiento declarado por el fabricante; además de la similitud entre este intervalo y el 10% en el que se ha encontrado la variación del dato declarado por el fabricante.

**Figura 46. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 2.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Tabla 32. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 2.**

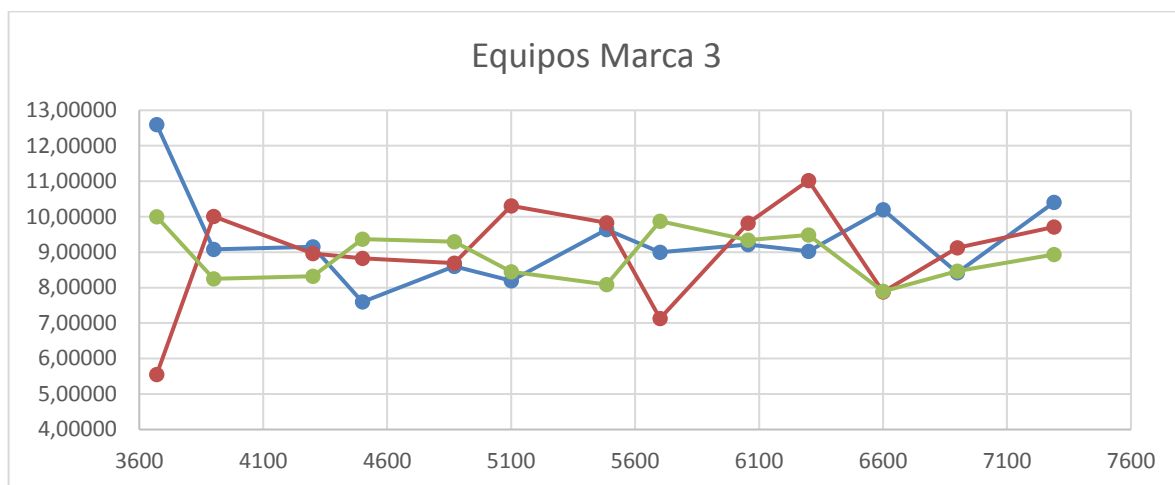
Potencia de Enfriamiento (W)			
Dato declarado por el fabricante	2344,67		
Norma NTC-4366 con el +/- 5% de acuerdo a la declaración del fabricante	(2227,43 ; 2346,30)		
<b>Intervalo de Confianza</b> hallado en el laboratorio	(2449,57 ; 2568,73)		
Con el +/- <b>10%</b> según el estudio de este proyecto y para cuando los equipos no cumplen con el 5%.	(2110,20 ; 2579,13)		
Datos de los equipos ensayados en el laboratorio	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
	2677,06	2371,26	2524,16
	2514,76	2495,88	2505,32
	2502,14	2493,82	2497,98

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4.4.3 Análisis de los resultados equipos Marca 3.

Se observa el comportamiento de los equipos para la marca 3 en la Figura 47 y se inicia el cálculo de cada uno de los parámetros en la confirmación:

**Figura 47. Comportamiento Equipos Marca 3.**

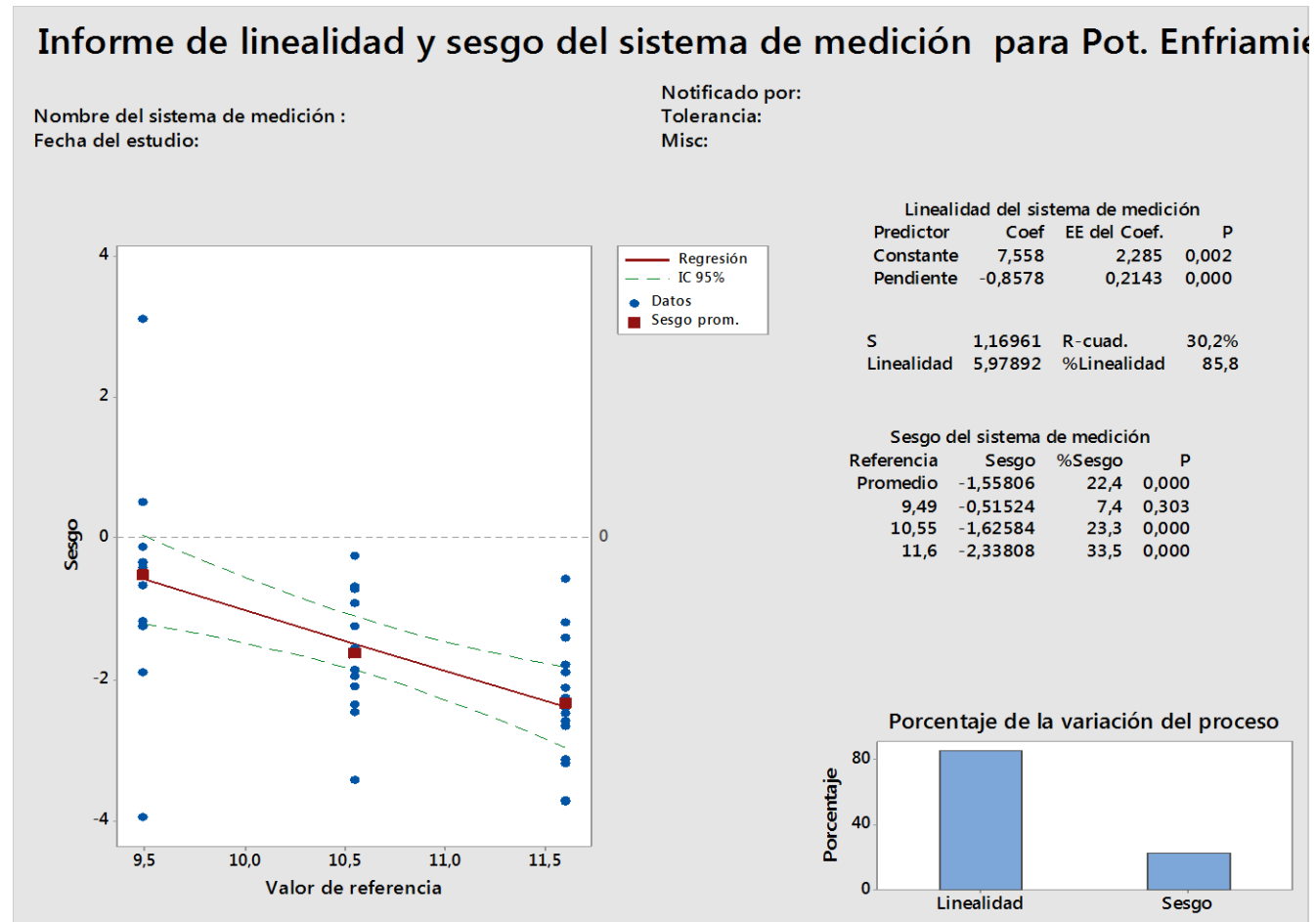


*Fuente: Elaboración propia.*

La **linealidad** del sistema de medición indica cuán exactas son las mediciones a través del rango esperado de las mediciones. Responde al interrogante, “¿Tiene el sistema de medición la misma exactitud para los tamaños de los objetos que se miden?”. Se visualiza el resultado de linealidad en la Figura 49, como se observa la linealidad del sistema de medición representa el 85,8% de la variación general del proceso.

La **Veracidad** se determinas hallando el sesgo del sistema de medición, que examina la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal o de referencia. Responde al interrogante, “¿Cuán sesgado es el sistema de medición en comparación con el valor principal?”. Se visualiza el resultado de sesgo en la Figura 49, como se observa el sesgo representa menos del 22,4 % de la variación general del sistema.

**Figura 48. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 3.**



Fuente: Minitab.

La **Robustez** del sistema de medición o también denominado homogeneidad de varianzas, el método utilizado es el de Levene, este método considera las separaciones de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra. El uso de la mediana de la muestra aumenta la robustez de la prueba para muestras pequeñas.

Se visualiza en la Figura 49 los resultados, y se concluye para el método de Levene, cuyo valor  $p$  (0,454) es mayor que el nivel de significancia  $\alpha$  (0,05), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula de que las desviaciones estándar son iguales. No hay suficiente evidencia para afirmar que los equipos de la marca 3 en la potencia de enfriamiento tienen desviaciones estándar desiguales.

**Figura 49. Resultado de Robustez Equipos Marca 3.**

### Prueba de varianzas iguales: Pot. Enfriamiento vs. Numpart. Referencia. Tiempo

#### Método

Hipótesis nula            Todas las varianzas son iguales  
 Hipótesis alterna        Por lo menos una varianza es diferente  
 Nivel de significancia    $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Numpart	Referencia	Tiempo	N	Desv.Est.	IC
1	9,49	5	12	1,65297	(0,799631. 4,26854)
2	10,55	5	12	0,90910	(0,564387. 1,82931)
3	11,6	5	15	0,89261	(0,596282. 1,58996)

Nivel de confianza individual = 98,3333%

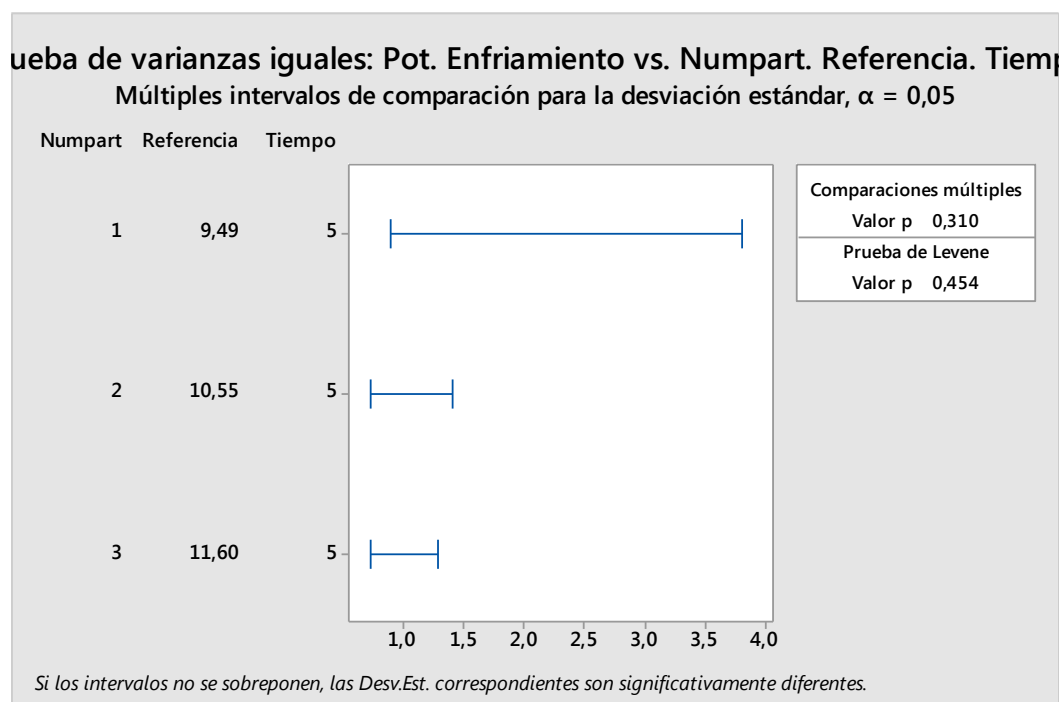
#### Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,310
Levene	0,81	0,454

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 50 los intervalos de comparación, estos se sobreponen, es decir, las desviaciones estándar para los equipos marca 1 son significativamente iguales.

**Figura 50. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 3.**



**Fuente:** Minitab 17.

La **Precisión** del sistema de medición, también conocido como el Estudio de **Repetibilidad y Reproducibilidad** (R&R). Para el análisis en los equipos acondicionadores de aire se utiliza Sistema de Medición R&R Anidado. Este concepto se explica en el manual de referencia MSA-4:2010 de la siguiente manera:

Este enfoque ve a cada parte como un material por separado, (...). Esto producirá valores múltiples y por separado de repetibilidad y reproducibilidad. Dado que las partes son consideradas como esencialmente idénticas, se asume que estos estimativos por separado son efectivamente idénticos. Por supuesto nunca serán exactamente los mismos, pero su promedio ofrecerá un buen estimativo del nivel verdadero de repetibilidad y reproducibilidad similar. (Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185)

La tabla de R&R del sistema de medición desglosa las fuentes de variabilidad total:

- **Estudio R&R del sistema de medición total** consta de:

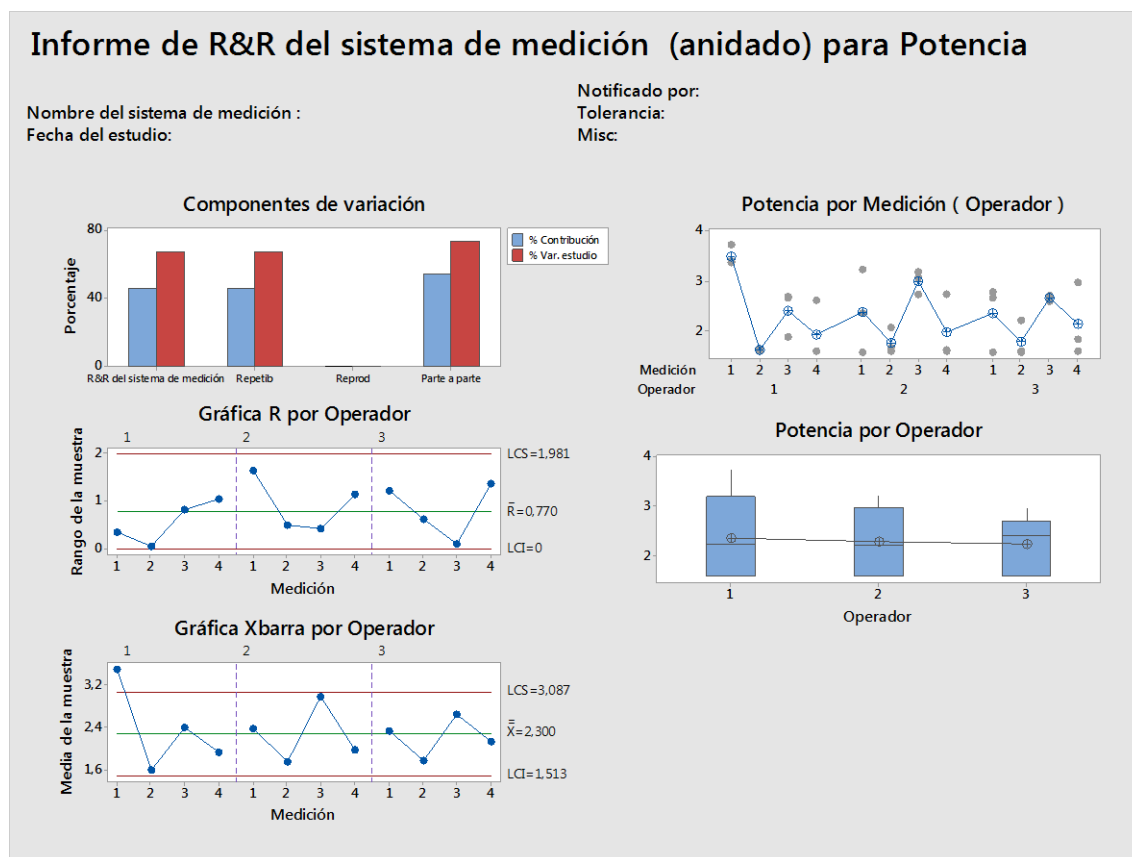
**Repetibilidad:** la variabilidad resultante de mediciones repetidas por el mismo operador.

**Reproducibilidad:** la variabilidad resultante cuando diferentes operadores miden la misma parte. (Ésta se puede dividir aún más hasta llegar a los componentes de operador y operador por parte).

- **Parte a parte:** la variabilidad en las mediciones entre partes diferentes.

La Figura 51 ilustra la “Gráfica de “Potencia por laboratorista” indica el promedio de todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por el laboratorista; lo ideal es que las mediciones promedio varíen en igual cantidad y lo menos posible entre laboratoristas. Lo que se puede observar es que el laboratorista 1 tiene un promedio más bajo que el de sus compañeros; además, se identifica 1 valor atípico representado con asteriscos en las mediciones del laboratorista 3.

**Figura 51. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 3.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Gráfica de “Potencia por Medición laboratorista”** muestra todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por muestra (equipos acondicionadores de aire). La línea azul conecta las mediciones promedio para cada parte y los puntos grises grafican las mediciones individuales. Lo ideal es que las mediciones para cada muestra individual varíen lo menos posible y que los promedios varíen lo suficiente como para que las diferencias entre las muestras se observen claramente. Esta gráfica muestra unas mediciones de potencia de enfriamiento con significativas variaciones entre las mediciones realizadas por un mismo laboratorista a una misma muestra; esta variación puede darse por la no competencia del laboratorista o del sistema de medición para medir uniformemente las muestras.



**Gráfica de “R por laboratorista”** en la gráfica de rangos se puede evidenciar rangos dentro de los límites, lo que muestra que el laboratorista mide las muestras (equipos acondicionadores de aire) con uniformidad.

**Gráfica de “X barra por laboratorista”** en la gráfica de promedios se puede observar un punto fuera de los límites de control; también se visualiza variación entre las muestras (equipos acondicionadores de aire), lo que puede indicar que la variación entre muestra y muestra es más grande que la variación del sistema utilizado para medir.

**Gráfica de “Componentes de variación”** en la gráfica se tiene que la variación debida al sistema de medición equivale el 87,75%; al observar los componentes de variación de este estudio se muestra que la repetibilidad es del 87,75% frente a un 0,00 % de reproducibilidad, por lo tanto se evidencia que la repetibilidad genera la contribución para el porcentaje del R&R total.

Se utiliza el procedimiento de análisis de varianza ANOVA para calcular los componentes de la varianza; luego se utiliza estos componentes para estimar el porcentaje de variación causado por el sistema de medición, la Figura 52 muestra estos resultados.

**Figura 52. Resultado Precisión (Estudio R&R) Equipos Marca 3.**

#### **Estudio R&R del sistema de medición - ANOVA anidado**

##### **R&R del sistema de medición (anidado) para Potencia**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Operador	2	0,7865	0,39325	0,17694	0,841
Medición (Operador)	9	20,0021	2,22246	1,89613	0,102
Repetibilidad	24	28,1304	1,17210		
Total	35	48,9191			

##### **R&R del sistema de medición**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	1,17210	77,00
Repetibilidad	1,17210	77,00
Reproducibilidad	0,00000	0,00
Parte a parte	0,35012	23,00
Variación total	1,52222	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (\$VE)
Gage R&R total	1,08264	6,49582	87,75
Repetibilidad	1,08264	6,49582	87,75
Reproducibilidad	0,00000	0,00000	0,00
Parte a parte	0,59171	3,55026	47,96
Variación total	1,23378	7,40270	100,00

Número de categorías distintas = 1

#### **Informe de R&R del sistema de medición (anidado) para Potencia**

*Fuente: Minitab 17.*

Para analizar los resultados se deben tener en cuenta los criterios de aceptación sugeridos por la AIAG y relacionados en la Figura 22; de acuerdo a estas directrices, este sistema de medición no es aceptable, ya que contiene más del 30% de la variación general. Es evidente entonces que el sistema de medición necesita mejoras enfocadas a reducir el porcentaje de repetibilidad.

La **Sensibilidad** para el sistema medición se utiliza la regresión ortogonal (regresión Deming) para probar si los equipos de la marca 1 proveen mediciones comparables. El intervalo de confianza para la **pendiente** debe contener 1 y el intervalo de confianza de la **intersección** debe contener 0.

Las hipótesis para la pendiente son:  $H_0: \beta_1 = 0$  versus  $H_1: \beta_1 \neq 0$

Las hipótesis para la intersección son:  $H_0: \beta_0 = 0$  versus  $H_1: \beta_0 \neq 0$

Aquí se hará 3 diferentes combinaciones para la comparación para los equipos de la marca 1.

- Equipo1 M3 vs Equipo2 M3: El resultado se muestran en la Figura 53; como 0 está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-1,13895; 4,68642) y 1 está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,51831 ; 1,16045). Por lo tanto, no existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 3 midan distinto con una variación de 0,90.

**Figura 53. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 3.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo 1 M3 versus Equipo 2 M3**

Relación Error - Varianza (Equipo 1 M3/Equipo 2 M3): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo 1 M3 = 1,774 + 0,839 Equipo 2 M3

Coefficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	1,77373	1,48609	1,1936	0,233	(-1,13895; 4,68642)
Equipo 2 M3	0,83938	0,16381	5,1240	0,000	( 0,51831; 1,16045)

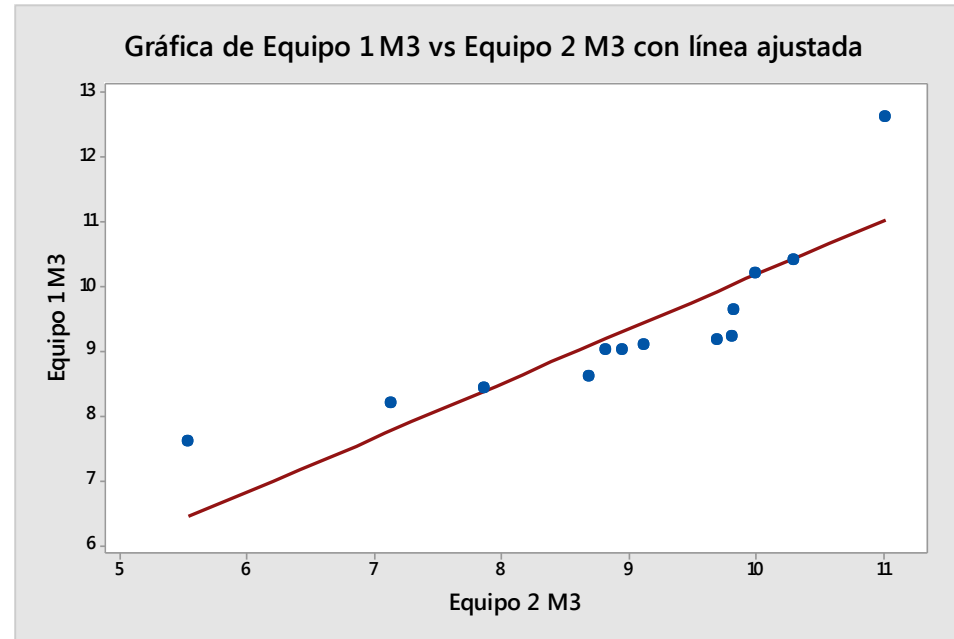
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo 1 M3	0,273470
Equipo 2 M3	0,303856

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 54 la línea de ajuste de los equipos 1 y 2 que se compararon.

**Figura 54. Resultado Sensibilidad-Línea de Ajuste Equipos 1 y 2 Marca3.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo1 M3 vs Equipo3 M3: El resultado se muestran en la Figura 55; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-13,6592; -2,07170) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (1,2805; 2,57914). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

**Figura 55. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca3.**

**Análisis de regresión ortogonal: Equipo 1 M3 versus Equipo 3 M3**

Relación Error - Varianza (Equipo 1 M3/Equipo 3 M3): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo 1 M3 = - 7,865 + 1,930 Equipo 3 M3

Coefficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-7,86546	2,95606	-2,6608	0,008	(-13,6592; -2,07170)
Equipo 3 M3	1,92984	0,33128	5,8253	0,000	( 1,2805; 2,57914)

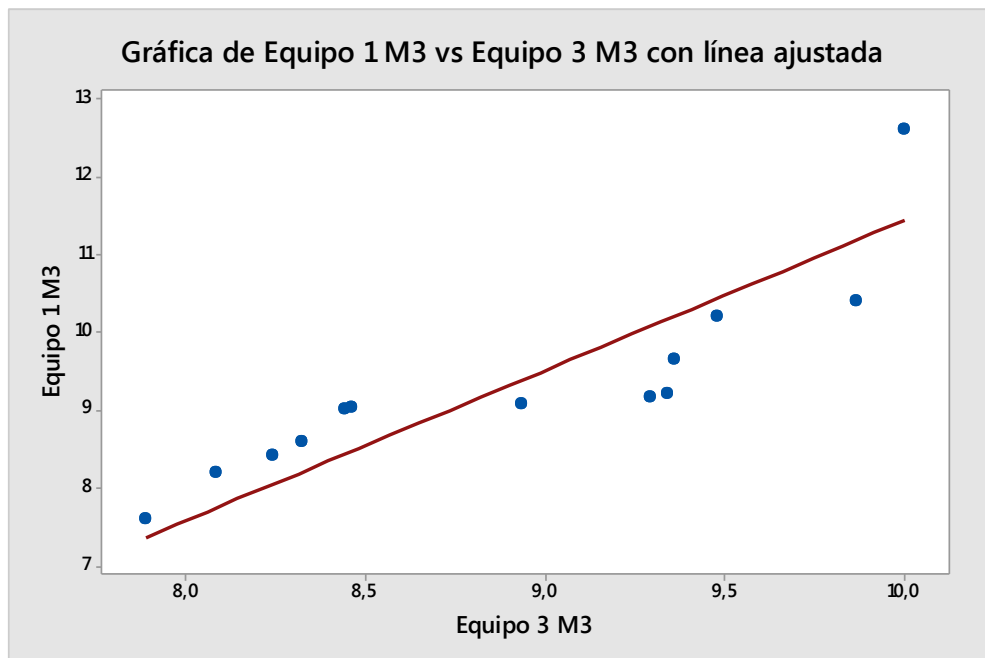
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo 1 M3	0,0869392
Equipo 3 M3	0,0965991

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 56 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

**Figura 56. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 1 y 3 Marca2.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo2 M3 vs Equipo3 M3: El resultado se muestran en la Figura 57; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-16,2368; -5,3246576) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (1,6088; 2,83152). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

**Figura 57. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 3.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo2 M3 versus Equipo3 M3**

Relación Error - Varianza (Equipo2 M3/Equipo3 M3): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo2 M3 = - 10,78 + 2,220 Equipo3 M3

Coeficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-10,78072	2,78376	-3,8727	0,000	(-16,2368; -5,32465)
Equipo3 M3	2,22017	0,31192	7,1178	0,000	( 1,6088; 2,83152)

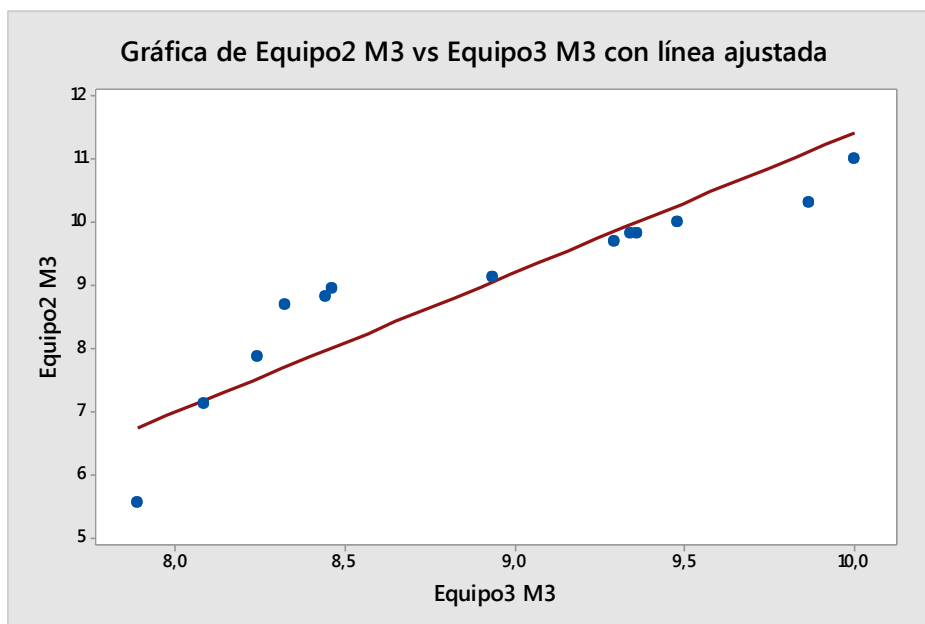
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo2 M3	0,0662378
Equipo3 M3	0,0735975

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 58 la línea de ajuste de los equipos 2 y 3 que se compararon.

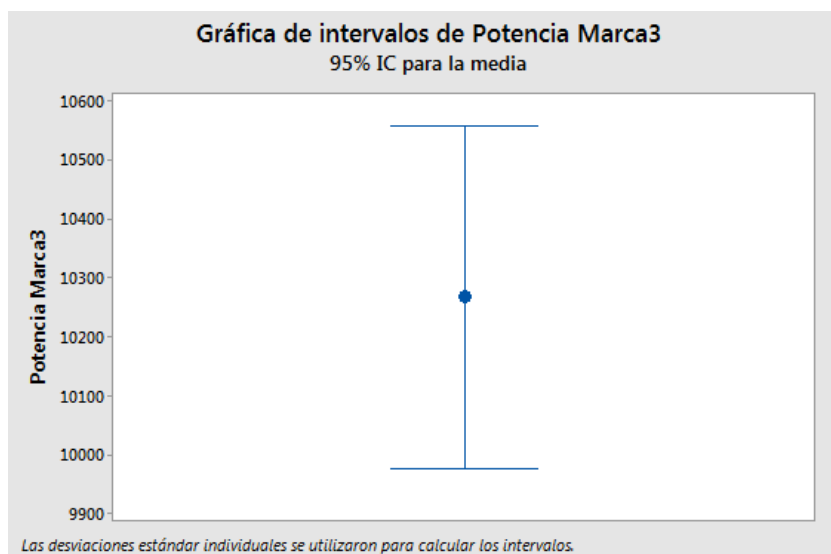
**Figura 58. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 2 y 3 Marca3.**



*Fuente: Minitab 17.*

Los **Límites** se evalúan mediante el **intervalo de confianza** Figura 59 que se determina para la marca 1 con los datos experimentales calculados en el laboratorio, se muestra la comparación de la potencia de enfriamiento en la tabla 33, el intervalo de confianza hallado no está incluido el dato de potencia de enfriamiento declarado por el fabricante; no hay similitud entre este intervalo y el 10% en el que se ha encontrado la variación del dato declarado por el fabricante, pero los datos de los equipos y la declaración están incluidos en este porcentaje.

**Figura 59. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 3.**



*Fuente: Minitab 17.*

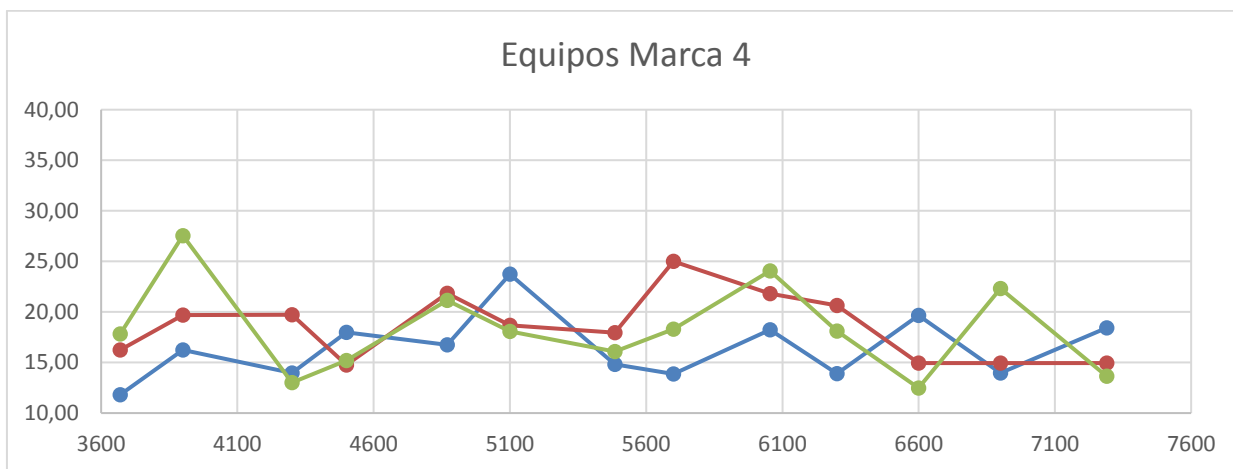
**Tabla 33. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 3.**

Potencia de Enfriamiento (W)			
Dato declarado por el fabricante	10551,00		
Norma NTC-4366 con el +/- 5% de acuerdo a la declaración del fabricante	(10023,45 ; 11078,55)		
<b>Intervalo de Confianza</b> hallado en el laboratorio	(9977,79 ; 10558,5)		
Con el +/- <b>10%</b> según el estudio de este proyecto y para cuando los equipos no cumplen con el 5%.	(9445,9 ; 11606,10)		
Datos de los equipos ensayados en el laboratorio	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
	10143,31	10734,14	10438,73
	9820,97	10628,10	10224,54
	9641,28	10640,94	10141,11

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4.4.4 Análisis de los Resultados Equipos Marca 4.

Se observa el comportamiento de los equipos para la marca 4 en la Figura 60 y se inicia el cálculo de cada uno de los parámetros en la confirmación:

**Figura 60. Comportamiento Equipos Marca 4.**

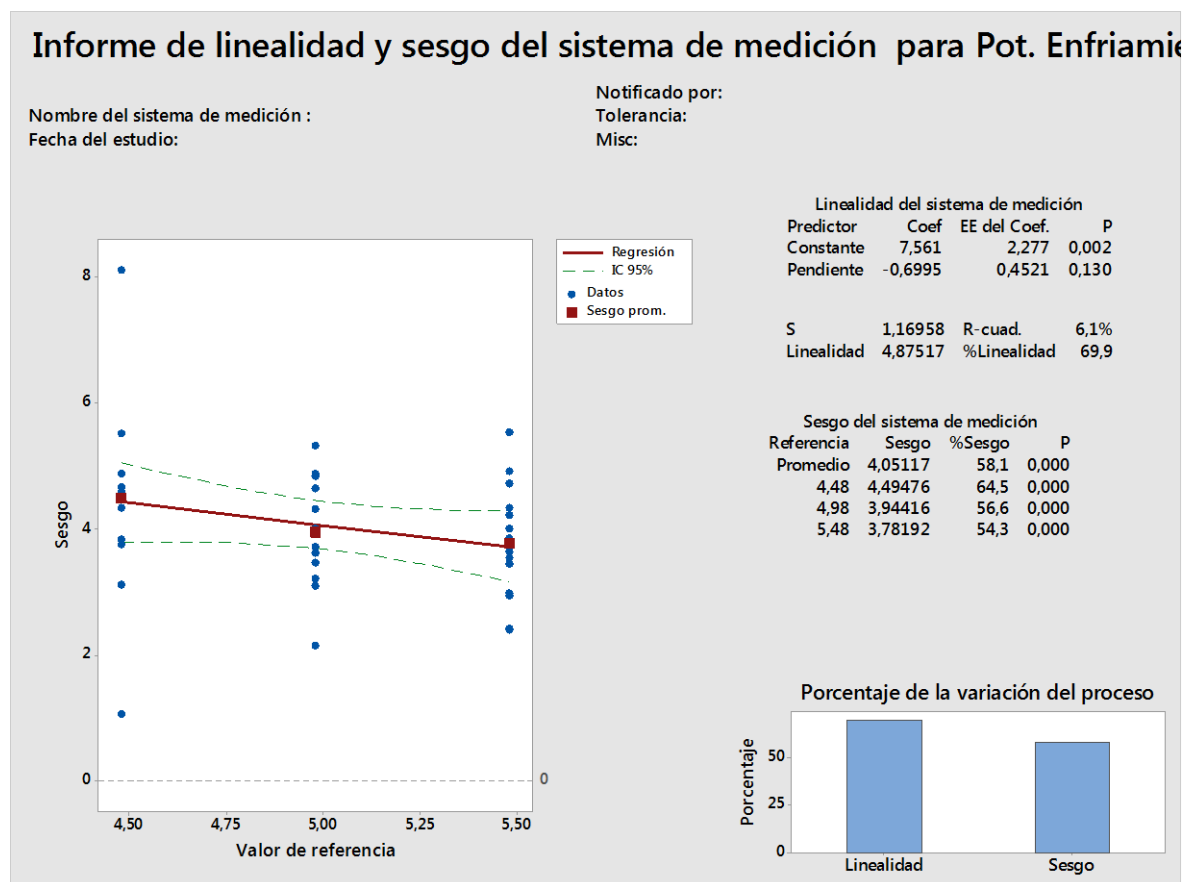
*Fuente: Elaboración propia.*

La **linealidad** del sistema de medición indica cuán exactas son las mediciones a través del rango esperado de las mediciones. Responde al interrogante, “¿Tiene el sistema de medición la misma exactitud para los tamaños de los objetos que se miden?”. Se visualiza el resultado de linealidad en

la Figura 61, como se observa la linealidad del sistema de medición representa el 69,9% de la variación general del proceso.

La **Veracidad** se determina hallando el **sesgo** del sistema de medición, que examina la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal o de referencia. Responde al interrogante, “¿Cuán sesgado es el sistema de medición en comparación con el valor principal?”. Se visualiza el resultado de sesgo en la Figura 61, como se observa el sesgo representa menos del 51,8 % de la variación general del sistema.

**Figura 61. Resultado Linealidad y Sesgo Equipos Marca 4.**



*Fuente: Minitab.*

La **Robustez** del sistema de medición o también denominado homogeneidad de varianzas, el método utilizado es el de Levene, este método considera las separaciones de las observaciones con respecto a la mediana de la muestra en lugar de la media de la muestra. El uso de la mediana de la muestra aumenta la robustez de la prueba para muestras pequeñas.

Se visualiza en la Figura 62 los resultados, y se concluye para el método de Levene, cuyo valor p (0,790) es mayor que el nivel de significancia  $\alpha$  (0,05), por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula de que las desviaciones estándar son iguales. No hay suficiente evidencia para afirmar que los equipos de la marca 4 en la potencia de enfriamiento tienen desviaciones estándar desiguales.



**Figura 62. Resultado de Robustez Equipos Marca 4.**

**Prueba de varianzas iguales: Pot. Enfriamiento vs. Numpart; Referencia; Tiempo**

**Método**

Hipótesis nula            Todas las varianzas son iguales  
 Hipótesis alterna        Por lo menos una varianza es diferente  
 Nivel de significancia    $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar

Numpart	Referencia	Tiempo	N	Desv.Est.	IC
1	4,48	5	12	0,478141	(0,227544; 1,25512)
2	4,98	5	12	0,394366	(0,257704; 0,75390)
3	5,48	5	15	0,433264	(0,323422; 0,69064)

Nivel de confianza individual = 98,3333%

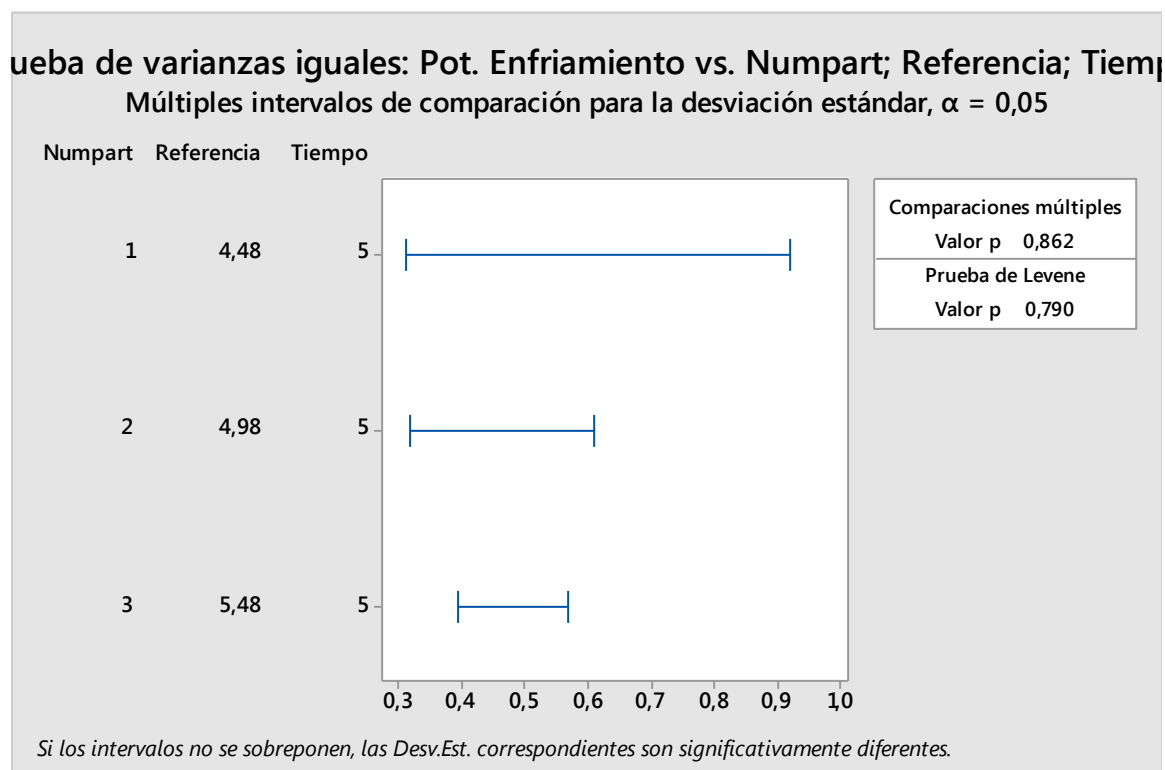
**Pruebas**

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,862
Levene	0,24	0,790

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 63 los intervalos de comparación, estos se sobreponen, es decir, las desviaciones estándar para los equipos marca 1 son significativamente iguales.

**Figura 63. Resultado de Robustez- intervalos Equipos Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

La **Precisión** del sistema de medición, también conocido como el Estudio de **Repetibilidad y Reproducibilidad** (R&R). Para el análisis en los equipos acondicionadores de aire se utiliza Sistema de Medición R&R Anidado. Este concepto se explica en el manual de referencia MSA-4:2010 de la siguiente manera:

Este enfoque ve a cada parte como un material por separado, (...). Esto producirá valores múltiples y por separado de repetibilidad y reproducibilidad. Dado que las partes son consideradas como esencialmente idénticas, se asume que estos estimativos por separado son efectivamente idénticos. Por supuesto nunca serán exactamente los mismos, pero su promedio ofrecerá un buen estimativo del nivel verdadero de repetibilidad y reproducibilidad similar. (Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185)

La tabla de R&R del sistema de medición desglosa las fuentes de variabilidad total:

- **Estudio R&R del sistema de medición total** consta de:

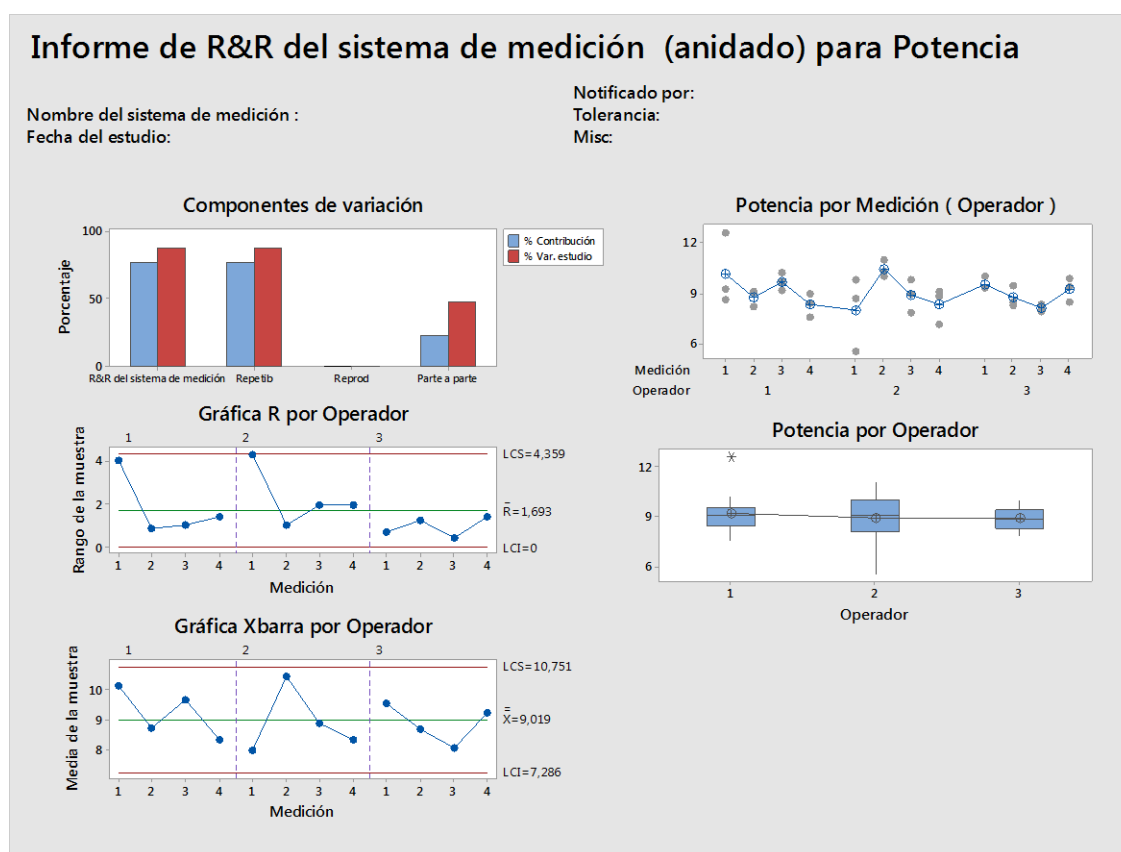
**Repetibilidad:** la variabilidad resultante de mediciones repetidas por el mismo operador.

**Reproducibilidad:** la variabilidad resultante cuando diferentes operadores miden la misma parte. (Ésta se puede dividir aún más hasta llegar a los componentes de operador y operador por parte).

- **Parte a parte:** la variabilidad en las mediciones entre partes diferentes.

La Figura 64 ilustra la “Gráfica de “Potencia por laboratorista” indica el promedio de todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por el laboratorista; lo ideal es que las mediciones promedio varíen en igual cantidad y lo menos posible entre laboratoristas. Lo que se puede observar es que los laboratoristas tienen un promedio similar.

**Figura 64. Resultado Precisión (Informe R&R) Equipos Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Gráfica de “Potencia por Medición laboratorista”** muestra todas las mediciones tomadas en el estudio y organizadas por muestra (equipos acondicionadores de aire). La línea azul conecta las mediciones promedio para cada parte y los puntos grises grafican las mediciones individuales. Lo ideal es que las mediciones para cada muestra individual varíen lo menos posible y que los promedios varíen lo suficiente como para que las diferencias entre las muestras se observen claramente. Esta gráfica muestra unas mediciones de potencia de enfriamiento con significativas variaciones entre las

mediciones realizadas por un mismo laboratorista a una misma muestra; esta variación puede darse por la no competencia del laboratorista o del sistema de medición para medir uniformemente las muestras.

**Gráfica de “R por laboratorista”** en la gráfica de rangos se puede evidenciar rangos dentro del intervalo indicando que el laboratorista mide las muestras (equipos acondicionadores de aire) con uniformidad.

**Gráfica de “X barra por laboratorista”** en la gráfica de promedios se puede observar un punto fuera de los límites de control; también se visualiza variación entre las muestras (equipos acondicionadores de aire), lo que puede indicar que la variación entre muestra y muestra es más grande que la variación del sistema utilizado para medir.

**Gráfica de “Componentes de variación”** en la gráfica se tiene que la variación debida al sistema de medición equivale al 77,00%; al observar los componentes de variación de este estudio se muestra que la repetibilidad es del 77,00% frente a un 0,00% de reproducibilidad, por lo tanto se evidencia que la repetibilidad genera la contribución para el porcentaje del R&R total.

Se utiliza el procedimiento de análisis de varianza ANOVA para calcular los componentes de la varianza; luego, utiliza esos componentes para estimar el porcentaje de variación causado por el sistema de medición, la Figura 65 muestra estos resultados.

**Figura 65. Resultado Precisión (R&R del sistema) Equipos Marca 4.**

**R&R del sistema de medición (anidado) para Potencia**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Operador	2	0,7865	0,39325	0,17694	0,841
Medición (Operador)	9	20,0021	2,22246	1,89613	0,102
Repetibilidad	24	28,1304	1,17210		
Total	35	48,9191			

**R&R del sistema de medición**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	1,17210	77,00
Repetibilidad	1,17210	77,00
Reproducibilidad	0,00000	0,00
Parte a parte	0,35012	23,00
Variación total	1,52222	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	1,08264	6,49582	87,75
Repetibilidad	1,08264	6,49582	87,75
Reproducibilidad	0,00000	0,00000	0,00
Parte a parte	0,59171	3,55026	47,96
Variación total	1,23378	7,40270	100,00

Número de categorías distintas = 1

*Fuente: Minitab 17.*

Para analizar los resultados se deben tener en cuenta los criterios de aceptación sugeridos por la AIAG y relacionados en la Figura 22; de acuerdo a estas directrices, este sistema de medición no es aceptable, ya que contiene más del 30% de la variación general. Es evidente entonces que el sistema de medición necesita mejoras enfocadas a reducir el porcentaje de repetibilidad.

La **Sensibilidad** para el sistema medición se utiliza la regresión ortogonal (regresión Deming) para probar si los equipos de la marca 1 proveen mediciones comparables. El intervalo de confianza para la **pendiente** debe contener 1 y el intervalo de confianza de la **intersección** debe contener 0.

Las hipótesis para la pendiente son:  $H_0: \beta_1 = 0$  versus  $H_1: \beta_1 \neq 0$

Las hipótesis para la intersección son:  $H_0: \beta_0 = 0$  versus  $H_1: \beta_0 \neq 0$

Aquí se hará 3 diferentes combinaciones para la comparación para los equipos de la marca 1.

- Equipo1 M4 vs Equipo2 M4: El resultado se muestran en la Figura 66; como 0 está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (-1,07462; 0,37349) y 1 está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,85360 ; 1,18992). Por lo tanto, no existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 midan distinto con una variación de 0,90.

**Figura 66. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 2 Marca 4.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo1 M4 versus Equipo2 M4**

Relación Error - Varianza (Equipo1 M4/Equipo2 M4): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo1 M4 = - 0,351 + 1,022 Equipo2 M4

Coeficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	-0,35057	0,369423	-0,9490	0,343	(-1,07462; 0,37349)
Equipo2 M4	1,02176	0,085798	11,9089	0,000	( 0,85360; 1,18992)

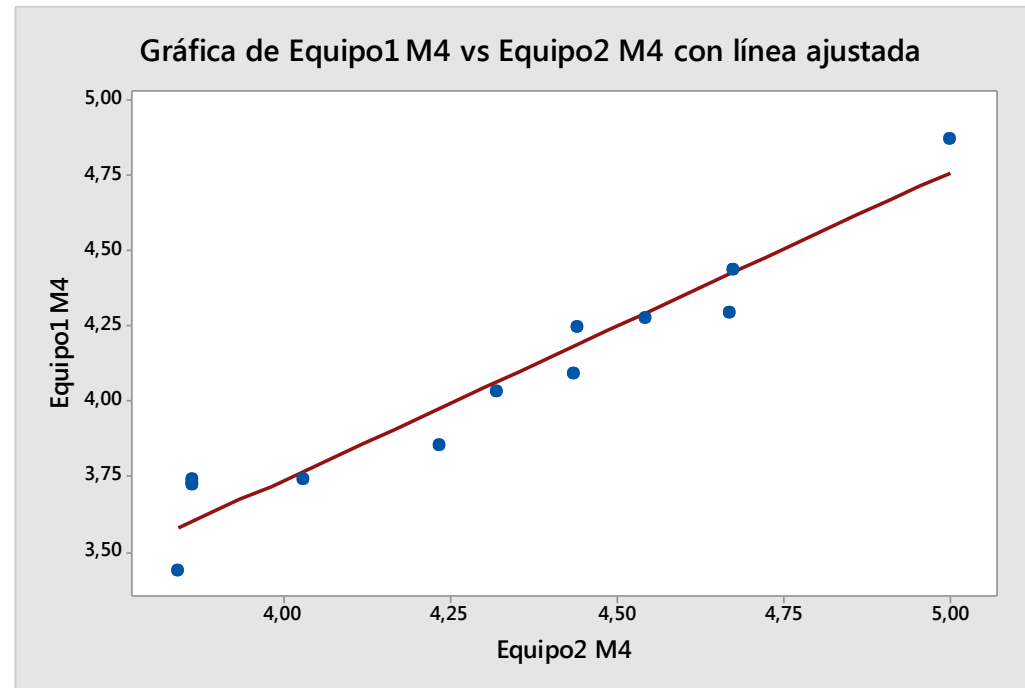
Varianzas del error

Variable	Varianza
Equipo1 M4	0,0050559
Equipo2 M4	0,0056177

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 67 la línea de ajuste de los equipos 1 y 2 que se compararon.

**Figura 67. Resultado Sensibilidad -Línea de ajuste Equipos 1 y 2 Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo1 M4 vs Equipo3 M4: El resultado se muestran en la Figura 68; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (0,116394; 0,980986) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,478231; 0,769979). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

**Figura 68. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 4.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo1 M4 versus Equipo3 M4**

Relación Error - Varianza (Equipo1 M4/Equipo3 M4): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo1 M4 = 0,890 + 0,740 Equipo3 M4

#### **Coeficientes**

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	0,88981	0,284538	3,1272	0,002	(0,332128; 1,44750)
Equipo3 M4	0,74020	0,066557	11,1214	0,000	(0,609751; 0,87065)

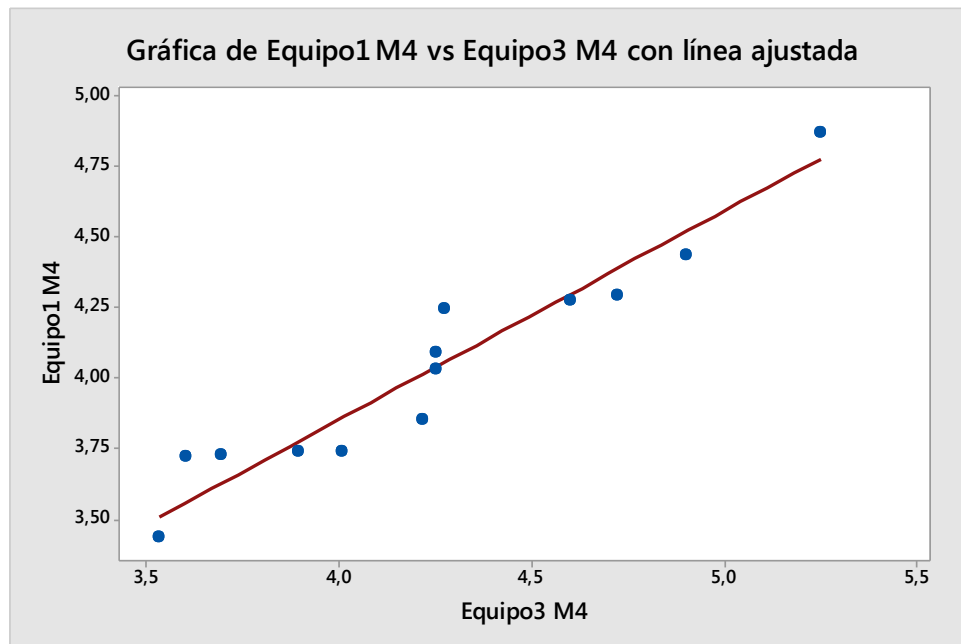
#### **Varianzas del error**

Variable	Varianza
Equipo1 M4	0,0076378
Equipo3 M4	0,0084865

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 69 la línea de ajuste de los equipos 1 y 3 que se compararon.

**Figura 69. Resultado Sensibilidad Equipos 1 y 3 Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

- Equipo2 M4 vs Equipo3 M4: El resultado se muestran en la Figura 70; como 0 no está incluido en el intervalo de confianza para la intersección (0,755809; 1,63645) y 1 no está dentro del intervalo de confianza de la pendiente (0,625650; 0,83162). Por lo tanto, existe evidencia de que los equipos acondicionadores de aire marca 1 miden distinto con una variación de 0,90.

**Figura 70. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 4.**

### **Análisis de regresión ortogonal: Equipo2 M4 versus Equipo3 M4**

Relación Error - Varianza (Equipo2 M4/Equipo3 M4): 0,9

Ecuación de regresión

Equipo2 M4 = 1,196 + 0,729 Equipo3 M4

Coefficientes

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	IC de 95% aprox.
Constante	1,19613	0,224656	5,3243	0,000	(0,755809; 1,63645)
Equipo3 M4	0,72863	0,052543	13,8673	0,000	(0,625650; 0,83162)

Varianzas del error

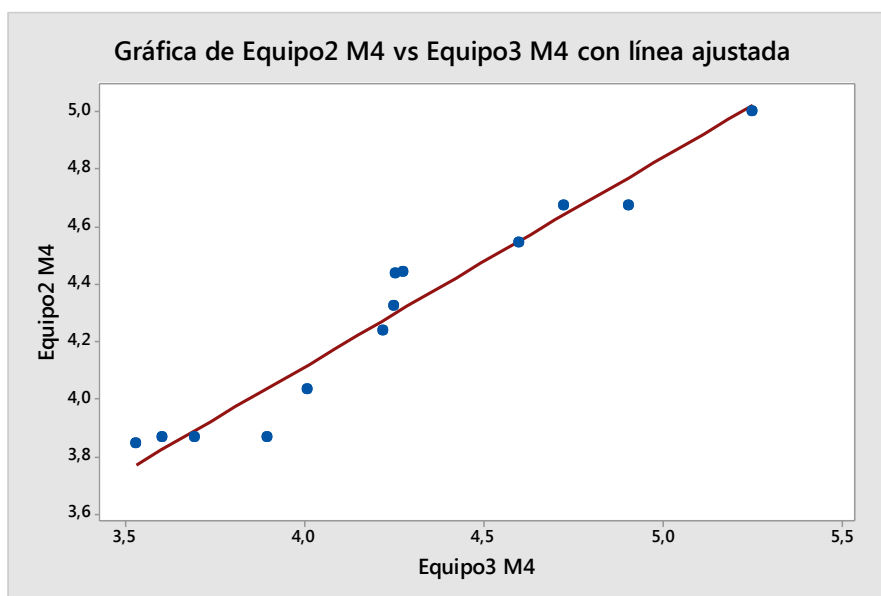
Variable	Varianza
Equipo2 M4	0,0049103
Equipo3 M4	0,0054559

*Fuente: Minitab 17.*

Se muestra en la Figura 71 la línea de ajuste de los equipos 2 y 3 que se compararon.



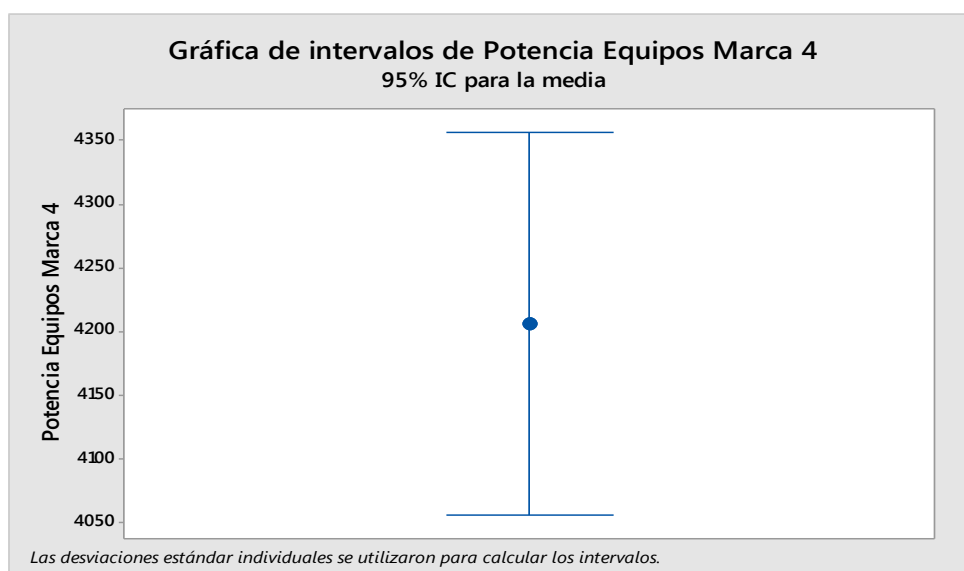
**Figura 71. Resultado Sensibilidad Equipos 2 y 3 Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

Los **Límites** se evalúan mediante el **intervalo de confianza** Figura 72 que se determina para la marca 1 con los datos experimentales calculados en el laboratorio, se muestra la comparación de la potencia de enfriamiento en la tabla 34, el intervalo de confianza hallado no está incluido el dato de potencia de enfriamiento declarado por el fabricante; no hay similitud entre este intervalo y el 10% en el que se ha encontrado la variación del dato declarado por el fabricante, pero los datos de los equipos y la declaración están incluidos en este porcentaje.

**Figura 72. Intervalo de Confianza- Valor de la Potencia de Enfriamiento Marca 4.**



*Fuente: Minitab 17.*

**Tabla 34. Intervalo Potencia de Enfriamiento Marca 4.**

Potencia de Enfriamiento (W)	
Dato declarado por el fabricante	4982,42
Norma NTC-4366 con el +/- 5% de acuerdo a la declaración del fabricante	(4733,30 ; 5231,54)
<b>Intervalo de Confianza</b> hallado en el laboratorio	(4055,54 ; 4357,26)
Con el +/- <b>10%</b> según el estudio de este proyecto	(4484,18 ; 5480,66)
Datos de los equipos ensayados en el laboratorio	4374,06
	4650,02
	4617,65

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4.5 Informe del Resultado de Confirmación.

Se declara el método aceptable para el uso previsto.

Los resultados del proceso de confirmación se dan en el informe..

**Tabla 35. Informe de Confirmación.**

#### DECLARACIÓN DEL MÉTODO

Se declara el método para el uso previsto:

Norma		Material a ensayar		Rango
Procedimiento interno		Equipo a calibrar		

#### ACEPTACIÓN DE LA VALIDACIÓN O CONFIRMACIÓN

Informe de validación o confirmación revisado por:		Validación o confirmación		Firma	Fecha de elaboración Año-Mes-Día
Nombre:		Aceptada			
Cargo:		Rechazada			

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5. Propuesta.

Al realizar la evaluación en la confirmación del método para equipos acondicionadores de aire, se demuestra que entre equipos de la misma marca y entre marcas existen diferencias significativas, por esta razón demostrar que solo con un dato declarado por el fabricante se pueda llegar en un laboratorio de ensayo a verificar y estar alineado completamente con este valor es difícil.

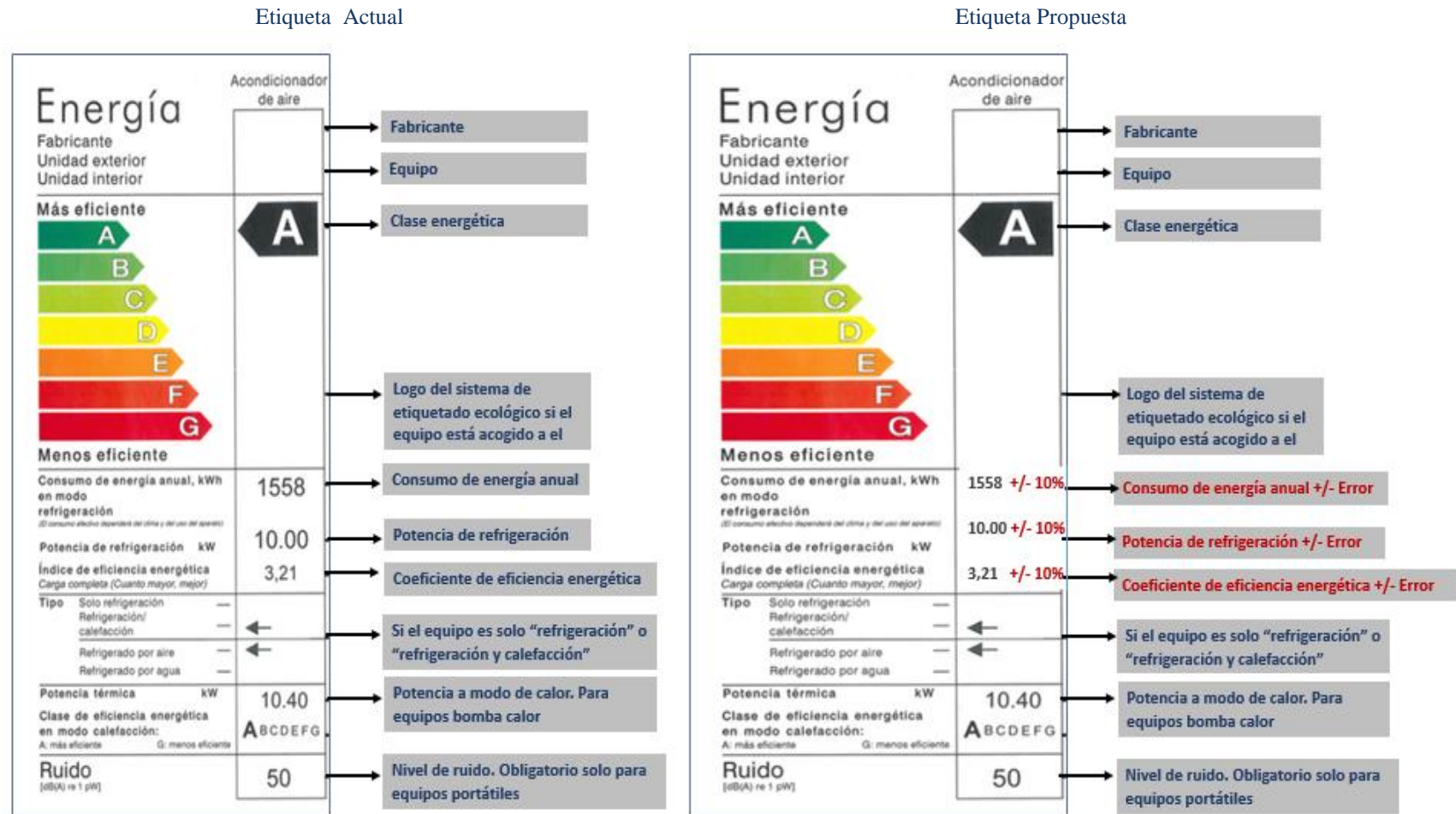
La propuesta luego de realizar diferentes pruebas en el Laboratorio de Ensayo para Equipos de Aire Acondicionado es definir como criterio de aceptación para el método calorimétrico el siguiente:

La declaración del fabricante dentro de un intervalo (dato declarado  $\pm 10\%$ ), daría al laboratorio un rango con límite mínimo y máximo para la capacidad de enfriamiento de los equipos. Si el fabricante ha establecido un punto de prueba (caracterización del equipo) según sus controles de calidad en la fabricación; este punto estaría dentro de este intervalo y los resultados del laboratorio estarían más cercanos a la declaración con un menor error.

Si se aplica este criterio a las 4 marcas de equipos estudiadas en este proyecto y a las pruebas realizadas en el laboratorio todos los equipos ensayados cumplirían completamente con la declaración del fabricante e incluso en cada uno de los parámetros de confirmación no habría diferencias significativas.

La etiqueta de los acondicionadores de aire; genera una confianza para el usuario que considera que estos datos entregados por el fabricante son certeros; pero con el tratamiento que contiene una medición sería necesario incluir **un nivel de confianza** para los datos declarados; que probablemente sería a través del error. Una posible etiqueta con esta información es la que se muestra en la Figura 73:

Figura 73. Etiqueta propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

La última recomendación es que en el RETIQ dónde se establece el  $\pm 5\%$  de aceptación en los ensayos para el método calorimétrico se modifique por  $\pm 10\%$ .

Es necesario que el laboratorio realice una prueba de intercomparación con otro laboratorio dónde haya la oportunidad de probar equipos del mismo lote de una marca específica y hacer el análisis correspondiente con los resultados del ejercicio.

## **6. Conclusiones.**

A través de los cálculos obtenidos y el análisis de resultados. Se logró determinar que la variación del sistema de medición a partir del promedio dado por el fabricante en cada una de las variables potencia térmica, potencia demandada, relación de eficiencia energética y energía consumida anualmente (Kwh/año) está entre el 5% y el 10%. Esto permite concluir que el sistema de medición para ser aceptado podría estar alrededor de un 90% de confianza.

Durante el desarrollo de la confirmación se identificaron algunas causas que pueden generar una variación por parte del sistema de medición y es que los datos entregados para cada variable corresponden con controles realizados a los acondicionadores de aire bajo condiciones particulares por el fabricante; generando una variación para cada tipo de equipo dentro de cada marca en las pruebas realizadas.

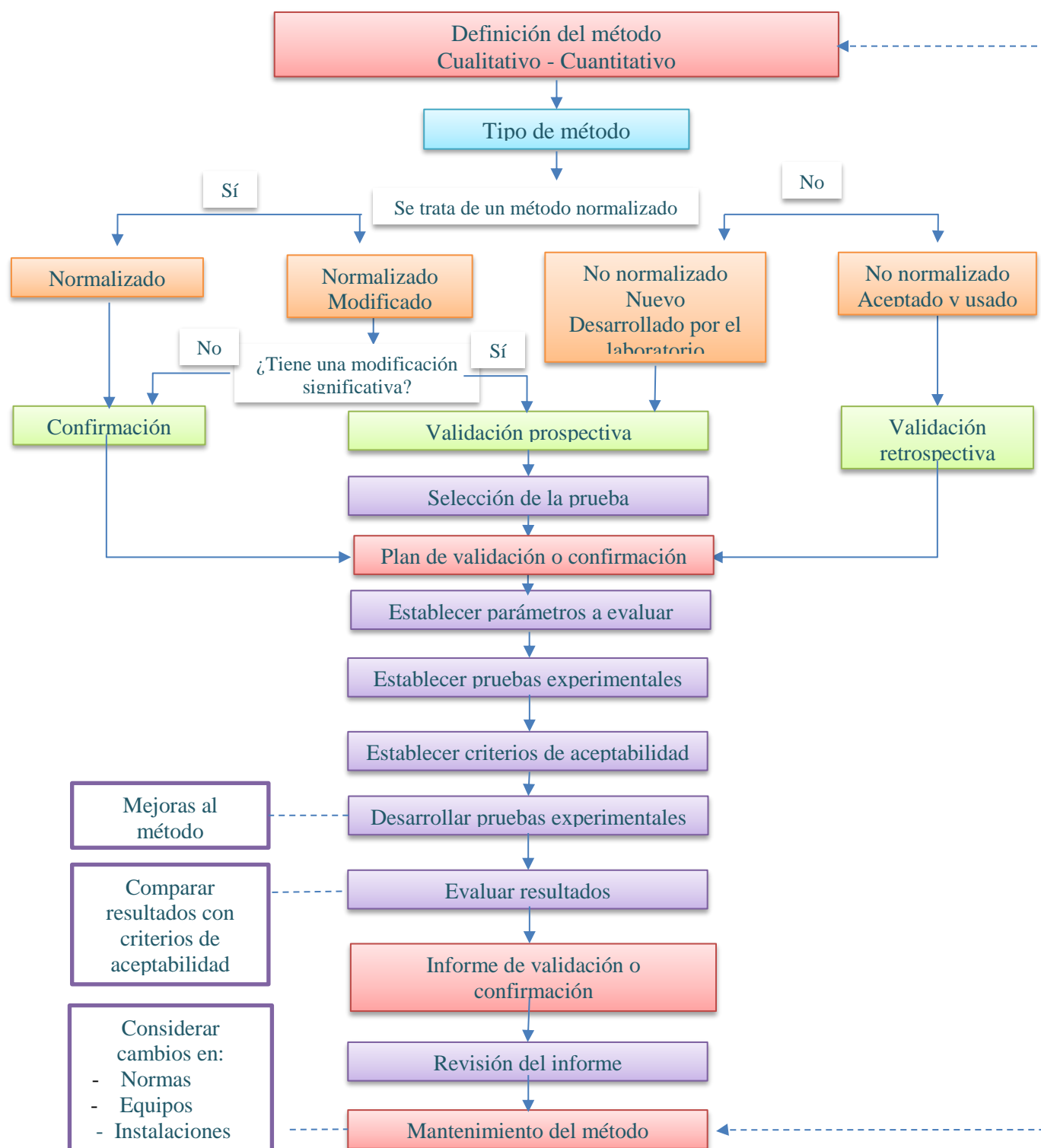
Lo ideal para este tipo de prueba es que el fabricante pueda entregar un intervalo de medición por cada variable y que este se convierta para el laboratorio en el intervalo de prueba por equipo y por marca.

La implementación de una confirmación del método calorimétrico en el LPEA, deja la base para futuros estudios del comportamiento y medición de las variables que se miden en las pruebas a los acondicionadores de aire.

## **7. Recomendaciones.**

- Se recomienda verificar las pruebas, para identificar el rango en que se mueve cada una de las variables potencia de consumo, relación de eficiencia energética y consumo de energía de acuerdo a cada tipo de marca. Podría dar un estimativo del nivel de confianza para el sistema de medición.
- Realizar comparaciones interlaboratorios a nivel nacional e internacional que permitan evaluar los resultados de las mediciones obtenidas en el laboratorio LPEA, contra valores establecidos por diferentes fabricantes u otros laboratorios, y determinar con mayor precisión las características de cada variable.
- Se propone la Figura 74 como secuencia para la validación o confirmación de métodos tomando como base la Figura 1 del Instituto de Salud Pública de Chile.

**Figura 74. Secuencia de Validación y Confirmación.**



**Fuente:** Elaboración propia, tomando como referencia el Instituto de Salud Pública. (2010). Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos”.



## **8. Bibliografía.**

- Gutiérrez De la Vara. Análisis y diseño de experimentos (2008). Segunda edición, editorial Mc Graw Hill.
- Mendenhall Willian. Estadística para administradores (1990). Grupo editorial Iberoamérica
- Norma Técnica Colombiana (NTC-ISO/IEC 17025: 2005). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- Norma Técnica Colombiana (NTC 4295:2005). Método de ensayo para clasificación de acondicionadores de aire para recinto.
- Norma Técnica Colombiana (NTC 5380:2005). Acondicionadores de aire y bomba de calor sin conductos. Ensayo y determinación de características de desempeño.
- EURACHEM .The fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics (2014).
- Instituto de Salud Pública. Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: “Aspectos generales sobre la validación de métodos” (2010).
- UNODC Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos (2010).
- BID Banco Interamericano de Desarrollo. El Sistema Nacional de Calidad en Colombia. Un análisis cualitativo del desarrollo del sistema (2016).
- Posada John Jairo. Efecto de la cantidad de carga en el consumo de combustible en camiones. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Tesis doctoral (2012).
- Hernández Revilla, Marta. Validación de métodos de ensayo y estimación de la incertidumbre de medida conforme a la norma ISO/IEC 17025. Aplicación al análisis de aguas residuales. Universidad de Valladolid. Tesis doctoral (2013).
- Ruggier, F., Alimonti, A., Bocca, B. Full validation and accreditation of a method to support human biomonitoring studies for trace and ultra-trace elements. Revista científica: Trends in Analytical Chemistry (2016).
- Delgado Gustavo. Validación y verificación de métodos de ensayos. Un dilema en los laboratorios de ensayos y en las auditorías de la acreditación. Universitas, Volumen 3 (2009).

Orozco Hincapie Carlos, Fonseca Díaz Nestor. Procedimiento para el cálculo de incertidumbre en la estimación de la potencia de enfriamiento de acondicionadores de aire de recinto. Universidad Tecnológica de Pereira. Revista Scientia et technica (2006).

Maisa Topanotti Daros(1), Diana de Souza Felisberto(1), Aline da Silva Pereira(1), Cláudio Roberto Peixoto Pessoa(1), Adriano Michael Bernardin(1,2). Google académico. QUALICER-Foro mundial de recubrimiento cerámico (2008).

CENAM. Centro Nacional de Metrología de México.

Resolución 41012 Reglamento técnico de etiquetado RETIQ. Ministerio de Minas y Energía Colombia (2015).

MSA-4:2010

Chrysler Group LLC et al, 2010, p.185